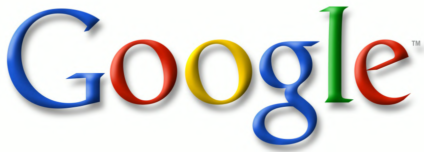
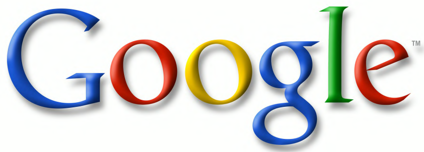
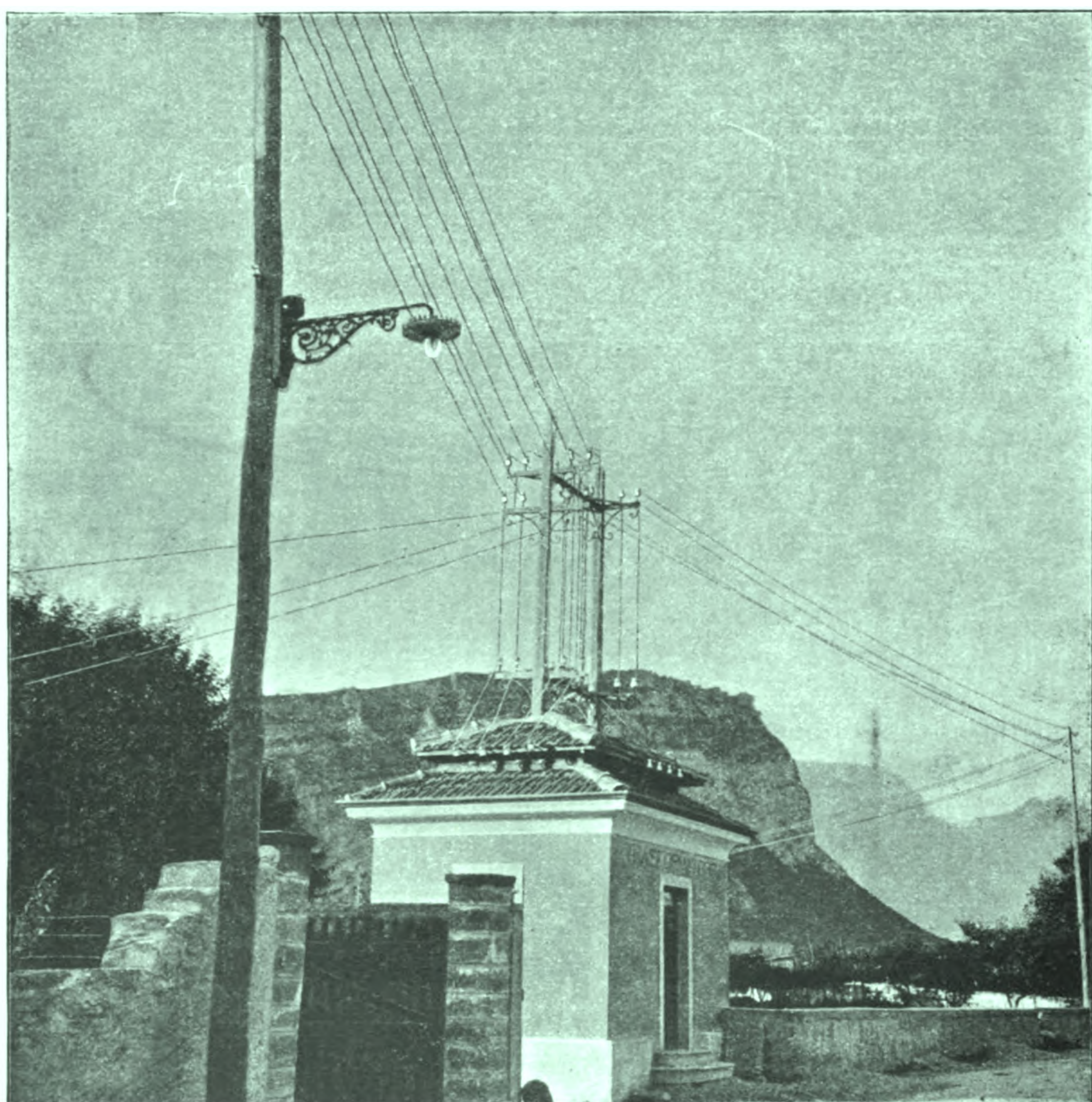
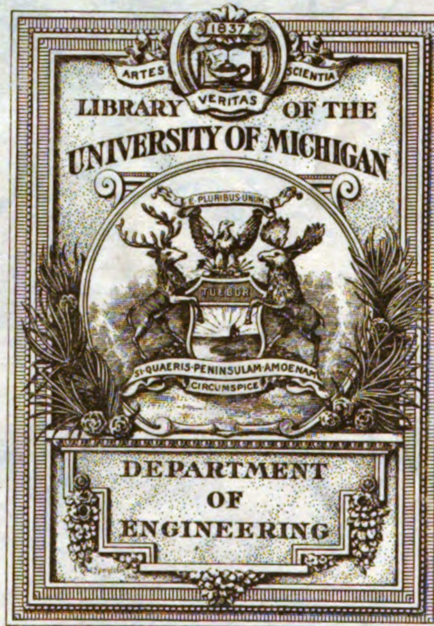


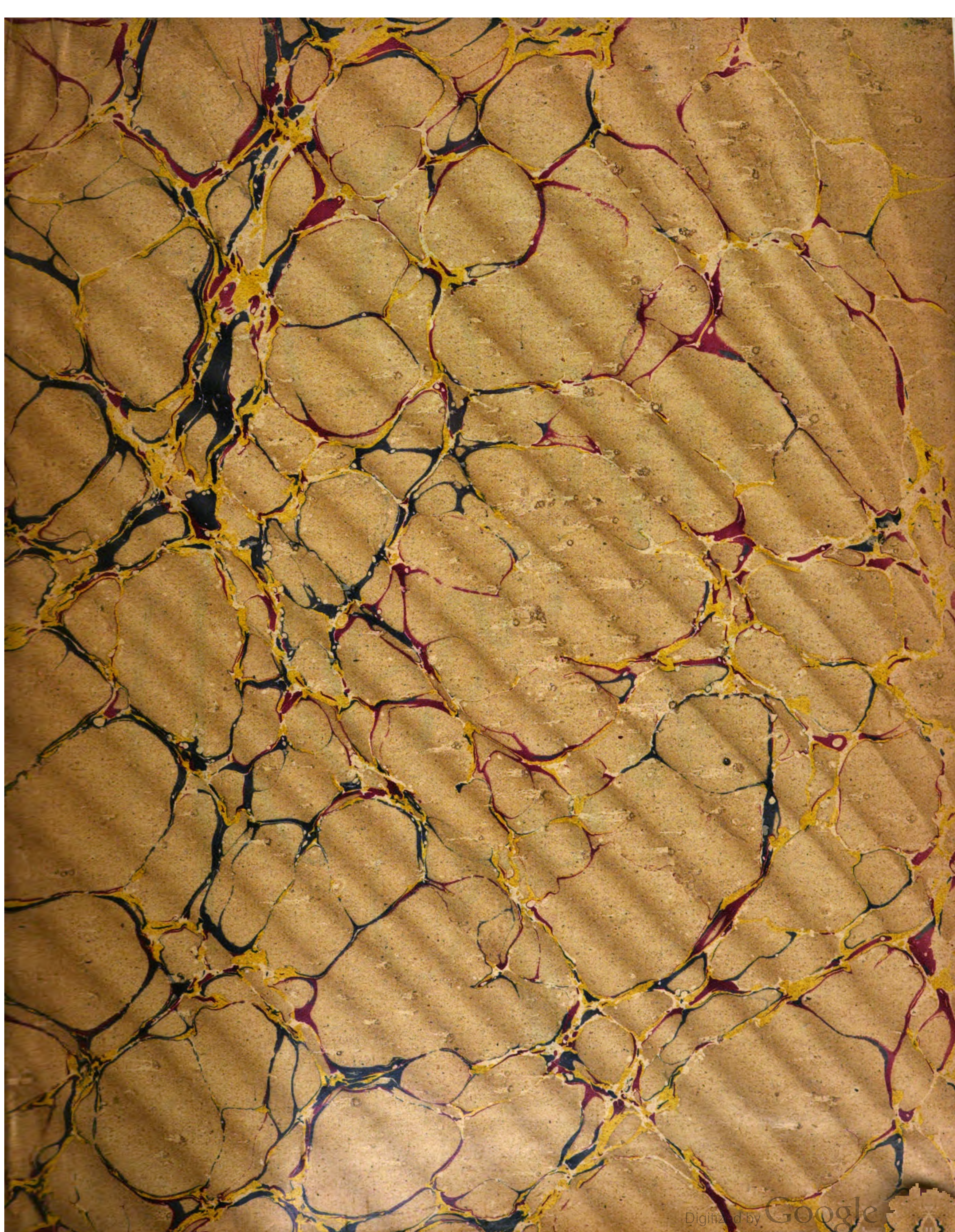




La Lumière électrique

AIOF


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. BLONDEL
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES PONTS
ET CHAUSSÉES.

Eric GÉRARD
DIRECTEUR DE L'INSTITUT
ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE,

G. LIPPMANN
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

D. MONNIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

H. POINCARÉ
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. POTIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. WITZ
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
PROFESSEUR A LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE.

TOME XLI

4e TRIMESTRE 1904

ADMINISTRATION ET RÉDACTION

40, RUE DES ÉCOLES, 40

PARIS Ve

Tome XLI. Samedi 1er Octobre 1904. 11e Année. — N° 40

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA THÉORIE DU MOTEUR SÉRIE COMPENSÉ MONOPHASÉ

Le moteur série compensé a déjà été l'objet de nombreux articles et nous citerons notamment l'étude récente de M. Th. Lehmann. Cependant la question ne nous paraît pas encore élucidée sur certains points importants, et c'est ce qui nous a engagé à produire les notes suivantes, dont la publication avait été retardée par diverses circonstances.

Préliminaires. — Comme on le sait, un moteur série compensé se compose (fig. 1) d'un stator ordinaire de moteur monophasé d'induction S et d'un rotor R constitué par un induit de dynamo à courant continu muni de deux paires de balais : l'une B_1B_1, connectée en série avec l'enroulement S, se trouve placée perpendiculairement à la ligne des pôles, l'autre B_2B_2 est dirigée suivant cette ligne et les balais de cette dernière paire sont réunis par un conducteur [1].

Sans entrer de suite dans les calculs, l'on peut énoncer *a priori* certaines propriétés du moteur série compensé ; ceci facilitera l'établissement des formules, tout en éclaircissant notablement leur sens.

Cherchons en effet le couple électromagnétique exercé sur le rotor ; il peut être regardé comme résultant des trois actions suivantes :

[1] Dans certains cas, les deux lignes de balais, tout en restant perpendiculaires entre elles, peuvent être déplacées d'un certain angle par rapport à cette position ; nous examinerons ultérieurement ce cas pour ne pas trop compliquer dès l'abord les calculs.

1° Le couple exercé par le champ inducteur, produit par l'enroulement S, sur les ampères-tours transversaux du rotor B_1B_1.

2° Le couple dû à l'action du champ des ampères-tours longitudinaux B_2B_2 du rotor sur les ampères-tours transversaux B_1B_1.

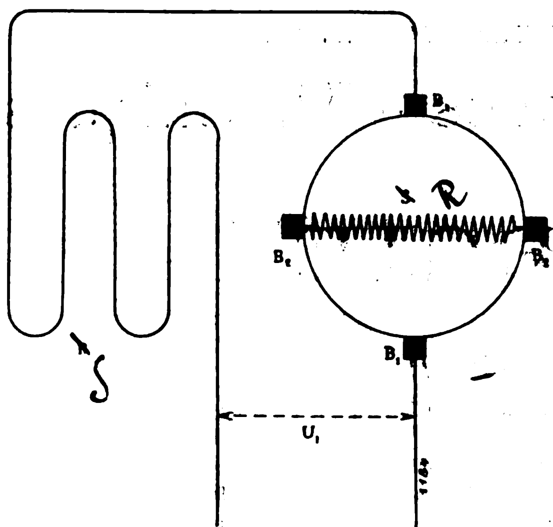


Fig. 1

3° Le couple provenant de l'action du champ transversal dû aux ampères-tours B_1B_1 sur les ampères-tours longitudinaux du rotor B_2B_2.

Or si le stator est muni d'un enroulement uniformément réparti dans les encoches ; la réluctance est constante pour toutes les directions telles que B_1B_1, B_2B_2. Il est alors facile de montrer que les deux derniers couples sont égaux et de signes contraires : si l'on désigne en effet par I_1 le courant primaire traversant l'enroulement S et les balais B_1B_1, par I_2 le courant secondaire traversant les balais B_2B_2, les deux derniers couples peuvent chacun se représenter par l'expression $\mu \overline{I_1I_2}$, $\overline{I_1I_2}$ étant le produit vectoriel des courants I_1 et I_2 et μ le coefficient d'induction mutuelle des circuits B_1B_1, B_2B_2 lorsque leur direction coïncide (¹).

D'ailleurs si l'action du circuit B_1B_1 tend à entraîner le circuit B_2B_2 dans un certain sens de rotation, l'action du circuit B_2B_2 tend naturellement à entraîner B_1B_1 en sens inverse.

En définitive, le couple résultant se réduit donc au premier couple, lequel est donné par l'expression MI_1^2, M étant le coefficient d'induction mutuelle des enroulements S et B_1B_1 quand leur direction coincide (²). (Cela revient à dire que M est le coefficient d'induction mutuelle de S et de B_2B_2.) Ce résultat peut s'énoncer de la manière suivante :

« *Le couple d'un moteur série compensé est simplement proportionnel au carré du courant primaire comme celui d'un moteur série ordinaire. Cette propriété est indépendante des fuites magnétiques et de la valeur de la résistance du circuit secondaire B_2B_2.* »

A ce point de vue, le moteur série compensé diffère beaucoup du moteur à répulsion dont le couple s'annule pour une vitesse finie, lorsque la résistance du circuit B_2B_2 atteint une certaine valeur ; ici le couple ne s'annule toujours théoriquement que pour une vitesse infinie, seule valeur pour laquelle le courant s'annule.

De ce qui précède l'on conclut également que le moteur ne peut fournir aucun couple utile s'il est dépourvu d'un enroulement inducteur S.

Cette propriété presque évidente a cependant été méconnue par certains auteurs.

Equations générales. — Désignons par :

I_1 et I_2 les intensités efficaces des circuits primaire et secondaire,

U_1 la tension efficace aux bornes primaires,

λ_1, λ_2 les coefficients de self induction du stator et du rotor,

---

(¹) Si le rotor possède un seul enroulement, il est visible que $\mu = \lambda_2$, λ_2 étant le cœfficient de self induction de l'enroulement rotorique. Dans certains cas le rotor peut cependant comporter deux enroulements distincts munis chacun d'un collecteur, l'un constituant le circuit B_1B_1 et l'autre le circuit B_2B_2.

(²) Cette expression est identique à celle du couple d'un moteur série ordinaire monophasé en fonction de I_1 Cf. A. Blondel. Notes sur les moteurs monophasés à collecteurs, Eclairage Electrique, 28 novembre 1903.

r_1, r_2 les résistances correspondantes,

M le coefficient d'induction mutuelle entre le rotor et le stator,

μ le coefficient d'induction mutuelle entre les circuits B_1B_1 et B_2B_2 lorsque leur direction coïncide (¹),

$\Omega = \frac{2\pi}{T}$ la vitesse de pulsation du courant,

ω la vitesse angulaire du moteur,

$z_2 = \sqrt{r_2^2 + \lambda_2^2 \Omega^2}$ l'impédance du circuit secondaire.

Par suite de la complication assez grande des équations initiales, il est commode de se servir de la méthode des imaginaires ; la méthode graphique n'est pas avantageuse ici pour une première étude, car, comme nous le verrons plus loin, le lieu polaire du courant primaire n'est pas un cercle, mais une courbe d'ordre élevé. On arrive d'ailleurs facilement à des expressions très simples et facilement discutables.

Si l'on considère le circuit primaire, la tension aux bornes U_1 doit équilibrer les forces électromotrices suivantes :

1° La force électromotrice r_1I_1 exigée par la résistance ohmique des enroulements S et B_1B_1.

2° La force électromotrice $(\lambda_1 + \lambda_2)\,\Omega I_1 j$ due à la self induction desdits enroulements (j est le symbole $\sqrt{-1}$).

3° La force électromotrice $M\Omega I_2 j$ due à l'induction de l'enroulement B_2B_2, parcouru par le courant I_2, exercée sur l'enroulement S.

4° La force électromotrice due à la rotation de l'enroulement B_1B_1 dans le champ de l'enroulement S ; son expression est $M\omega I_1$, comme pour un moteur monophasé série ordinaire.

5° La force électromotrice due à la rotation de l'enroulement B_1B_1 dans le champ de l'enroulement B_2B_2 parcouru par le courant I_2 ; elle est analogue à la précédente et a pour expression $\mu\omega I_2$.

On obtient donc pour le circuit primaire l'égalité :

$$U_1 = (r_1 + M\omega)I_1 + (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 j + \mu\omega I_2 + M\Omega I_2 j \qquad (1$$

Formons de même l'équation du circuit secondaire B_2B_2 ; la tension entre les deux balais B_2 peut ici être supposée nulle, car, sans ôter de la généralité à l'équation, l'on peut toujours supposer que toute la résistance secondaire r_2 réside dans l'enroulement du rotor.

Dans ces conditions, le rotor est le siège des forces électromotrices suivantes :

1° La force électromotrice r_2I_2 exigée par la résistance ohmique du circuit secondaire.

2° La force électromotrice de self induction $\Omega\lambda_2I_2j$ du circuit secondaire.

3° La force électromotrice $M\Omega I_1 j$ induite par l'enroulement S du stator.

4° La force électromotrice due à la rotation de l'enroulement B_2B_2 dans le champ de l'enroulement B_1B_1 ; elle est identique à la force électromotrice $\mu\omega I_2$ du circuit primaire, mais doit être prise avec le signe —, comme nous allons le montrer. Son expression est ainsi $-\mu\omega I_1$.

L'équation du circuit secondaire est finalement :

$$0 = r_2I_2 + \lambda_2\Omega I_2 j + M\Omega I_1 j - \mu\omega I_1 \qquad (2$$

Nous avons dit qu'il fallait prendre le signe — pour la quatrième force électromotrice $-\mu\omega I_1$; l'on peut s'en rendre compte très simplement de la manière suivante :

Supposons que le moteur soit alimenté par du courant continu ; les remarques des

(¹) Pour les valeurs explicites de $M, \mu, \lambda_1, \lambda_2$, voir A. Blondel, *loc. cit.*, page 330 et suivantes.

préliminaires s'appliquant encore, l'on doit avoir *a priori* d'après le principe de la conservation de l'énergie, l'égalité :

$$U_1 I_1 = r_1 I_1^2 + M\Omega I_1^2 + r_2 I_2^2 \qquad (a$$

qui exprime que la puissance prise au réseau $U_1 I_1$ se dissipe d'une part en chaleur $(r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2)$, d'autre part fournit une puissance utile brute $M\Omega I_1^2$. De plus, dans les équations 1 et 2, les termes en Ω s'évanouissent et l'on obtient :

$$U_1 = (r_1 + M\omega) I_1 + \mu\omega I_2 \qquad 1)'$$

$$0 = r_2 I_2 - \mu\omega I_1 \qquad 2)'$$

Or, si l'on multiplie (1)′ par I_1 et (2)′ par I_2, l'on arrive précisément en ajoutant membre à membre à l'expression (*a*), donc il faut bien affecter les termes $\mu\omega I_2$ et $\mu\omega I_1$ de signes différents ; sans cela l'égalité *a* ne serait pas vérifiée, ce qui est impossible. Enfin il est bien évident que cette différence de signe subsiste pour le courant alternatif.

Courant primaire. — Ce étant, tirons de (2 la valeur complexe de I_2 et portons la dans (1 ; il vient :

$$I_2 = \frac{\mu\omega I_1 - M\Omega I_1 j}{r_2 + \lambda_2 \Omega j} \qquad (3$$

$$U_1 = (r_1 + M\omega) I_1 + (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 j + \mu\omega \frac{\mu\omega I_1 - M\Omega I_1 j}{r_2 + \lambda_2 \Omega j} + M\Omega j \frac{\mu\omega I_1 - M\Omega I_1 j}{r_2 + \lambda_2 \Omega j}$$

Effectuons les produits indiqués et simplifions :

$$U_1 = (r_1 + M\omega) I_1 + (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 j + \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{r_2 + \lambda_2 \Omega j} I_1$$

$$= (r_1 + M\omega) I_1 + (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 j + (r_2 - \lambda_2 \Omega j)\frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{r_2^2 + \lambda_2^2\Omega^2} I_1$$

$$= \left[r_1 + M\omega + \frac{r_2}{r_2^2 + \lambda_2^2\Omega^2}(\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2)\right] I_1 + \left[(\lambda_1 + \lambda_2)\Omega - \frac{\lambda_2\Omega}{r_2^2 + \lambda_2^2\Omega^2}(\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2)\right] I_1 j$$

ou finalement en remplaçant $r_2^2 + \lambda_2^2\Omega^2$ par z_2^2 et en posant pour simplifier :

$$\frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + \lambda_2^2\Omega^2}} = \cos\gamma, \qquad \frac{\lambda_2\Omega}{\sqrt{r_2^2 + \lambda_2^2\Omega^2}} = \sin\gamma$$

$$U_1 = \left[r_1 + M\omega + \frac{\mu^2\omega^2 + M\Omega^2}{z_2}\cos\gamma\right] I_1 + \left[\lambda_1\Omega + \lambda_2\Omega - \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\sin\gamma\right] I_1 j \qquad (4$$

Si l'on passe alors aux valeurs réelles efficaces en prenant les modules, l'expression du courant I_1 obtenue est finalement :

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + M\omega + \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\cos\gamma\right)^2 + \left(\lambda_1\Omega + \lambda_2\Omega - \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\sin\gamma\right)^2}} \qquad (5$$

expression relativement simple et très facile à retenir.

Angle de décalage. — Facteur de puissance. — D'après une règle connue l'on tire immédiatement de l'égalité (4 la valeur de la tangente de l'angle de décalage φ entre U_1 et I_1 :

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\lambda_1\Omega + \lambda_2\Omega - \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\sin\gamma}{r_1 + M\Omega + \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\cos\gamma} \qquad (6$$

Comme on le voit, l'angle φ s'annule pour une certaine vitesse ω_0 donnée par la relation.

$$\lambda_1\Omega + \lambda_2\Omega - \frac{\mu^2\omega_0^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\sin\gamma = 0$$

$$\Omega_0 = \frac{1}{\mu}\sqrt{\frac{z_2\Omega(\lambda_1+\lambda_2)}{\sin\gamma} - M^2\Omega^2} \quad (7$$

Si l'on néglige les fuites magnétiques et la résistance secondaire r_2 du rotor, l'on a dès lors, en se plaçant dans le cas ordinaire d'un seul enroulement sur le rotor ($\mu = \lambda_2$) :

$$z_2 = \Omega\lambda_2 \qquad \sin\gamma = 1$$
$$M^2 = \lambda_1\lambda_2 \qquad \mu = \lambda_2$$

et la relation 7 devient

$$\omega_0 = \frac{1}{\lambda_2}\sqrt{\lambda_2(\lambda_1+\lambda_2)\Omega^2 - \lambda_1\lambda_2\Omega^2}$$
$$= \Omega$$

En d'autres termes, l'angle φ s'annule au synchronisme ([1]).

Dans la pratique ω_0 sera légèrement supérieur à Ω.

Lorsque ω dépasse ω_0, φ change de signe et le courant I_1 se trouve en avance sur la tension aux bornes U_1 ; le moteur fournit alors du courant déwatté au réseau, comme le ferait un condensateur.

Courant secondaire. — De l'égalité (3) l'on tire immédiatement en passant aux valeurs réelles efficaces :

$$I_2 = \frac{\sqrt{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}}{z_2} I_1$$

et en portant dans cette expression la valeur de I_1 trouvée, l'on obtient :

$$I_2 = \frac{\sqrt{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}\, U_1}{z_2\sqrt{\left(r_1 + M\omega + \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\cos\gamma\right)^2 + \left(\lambda_1\Omega + \lambda_2\Omega - \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{z_2}\sin\gamma\right)^2}}$$

Comme on le voit par cette formule, le courant I_2 s'annule pour $\omega = \infty$; c'est encore là une différence essentielle avec le moteur à répulsion ; dans celui-ci en effet le courant secondaire tend vers une valeur finie lorsque la vitesse tend vers l'infini.

Influence des constantes magnétiques.— Reprenons l'expression (5) du courant primaire I_1. Si l'on fait varier ω de 0 à ∞, le courant I_1 peut passer visiblement par un maximum; en effet, des deux carrés sous le radical, le premier croît avec la vitesse et le second décroît. Il semble donc bien *a priori* qu'il ait une valeur de ω pour laquelle la somme des carrés est minima, c'est-à-dire pour laquelle I_1 est maximum. Pour préciser, il suffit d'égaler à zéro la dérivée de la quantité placée sous le radical ; toutefois l'on est conduit à une équation très compliquée dans le cas général, et nous supposerons pour simplifier que les fuites magnétiques sont négligeables ainsi que les résistances ohmiques. La quantité sous le radical prend dès lors la forme simple :

$$\lambda_1\lambda_2\omega^2 + \left(\lambda_2\Omega - \frac{\lambda_2\omega^2}{\Omega}\right)^2$$
$$(M^2 = \lambda_1\lambda_2, \quad \mu = \lambda_2, \quad r_1 = r_2 = 0)$$

([1]) Cette propriété a été, comme on le sait, démontrée pour la première fois par M. Latour.

***

Prenons la dérivée et égalons-la à zéro :

$$2\lambda_1\lambda_2\omega - 4\lambda_2^2 \frac{\omega}{\Omega}\left(\Omega - \frac{\omega^2}{\Omega}\right) = 0$$

d'où

$$\omega = \Omega\sqrt{1 - \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}} \qquad (7)$$

L'on remarque immédiatement que pour qu'il y ait un maximum il faut :

$$2\lambda_2 > \lambda_1$$

Sinon, le courant va en diminuant sans cesse depuis le démarrage jusqu'aux plus grandes vitesses, comme pour un moteur série ordinaire. Or il est bien évident qu'il doit en être ainsi pour un bon fonctionnement du moteur ; si le courant se trouvait en effet maximum à une certaine vitesse, non seulement le moteur brûlerait presque infailliblement à cette vitesse, mais encore sa marche deviendrait très instable au-dessous de cette vitesse, puisque à une vitesse décroissante, correspondrait un courant décroissant, l'expression du couple étant MI_1^2 comme on l'a vu dans les préliminaires.

Dans un moteur série compensé l'on devra donc toujours avoir :

$$\lambda_1 > 2\lambda_2$$

Si l'on suppose que les enroulements rotorique et statorique sont identiques, cette expression peut se mettre sous une autre forme ; en désignant en effet par N_1 et N_2 les nombres de spires primaires et secondaire, il existe la proportion :

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2}$$

Par suite l'inégalité précédente devient :

$$N_1^2 > 2N_2^2$$
$$N_1 > \sqrt{2}\,N_2$$

Cette condition sera facile à réaliser dans la majorité des cas.

J. Bethenod,
Ingénieur Electricien.

(*A suivre*)

CONTROLEURS " WESTINGHOUSE "

POUR LA COMMANDE DE MOTEURS A COURANT CONTINU A EXCITATION SÉRIE OU COMPOUND

La Société Anonyme Westinghouse du Havre, bien connue pour ses moteurs électriques pour tramways, fait une application très heureuse de ces moteurs à la commande de ponts-roulants, monte-charges, treuils d'extraction et autres appareils de levage. Les moteurs tels qu'ils sont établis pour ces applications, ne diffèrent guère de ceux pour les

tramways que par la disposition extérieure de la carcasse magnétique qui porte, venus de fonte, quatre pieds permettant au moteur d'être fixé rigidement ou supporté sur des ressorts pour la commande directe des divers engins des ponts-roulants, monte-charges, etc...

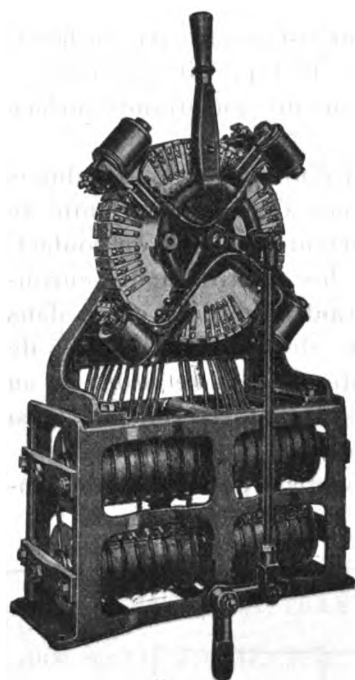


Fig. 1

Comme il est de grande importance que les appareils de commande de ces moteurs soient très robustes, par suite de leur travail excessivement dur, et afin d'éviter des arrêts ou accidents dans le service, la Société Westinghouse a établi une série de contrôleurs répondant à ces besoins. Ils ont déjà fait preuve de leur haut degré de régularité et de durabilité dans plusieurs installations et nous croyons devoir attirer l'attention des ingénieurs et industriels sur ces appareils.

Les contrôleurs dont nous donnons ici quelques illustrations montrant leur simplicité de construction, sont composés d'un bâti en fonte contenant des colonnes de résistances qui doivent être insérées dans le circuit d'alimentation des moteurs. Sur ce bâti en fonte se trouve monté un collecteur constitué d'une quantité déterminée de contacts en cuivre, suivant le nombre de variations, de vitesses que l'on désire obtenir. Ces contacts sont solidement fixés par des vis sur un tambour de marbre et sont reliés aux résistances en des points convenablement choisis. Les contacts sont amovibles et peuvent être remplacés facilement en cas d'usure.

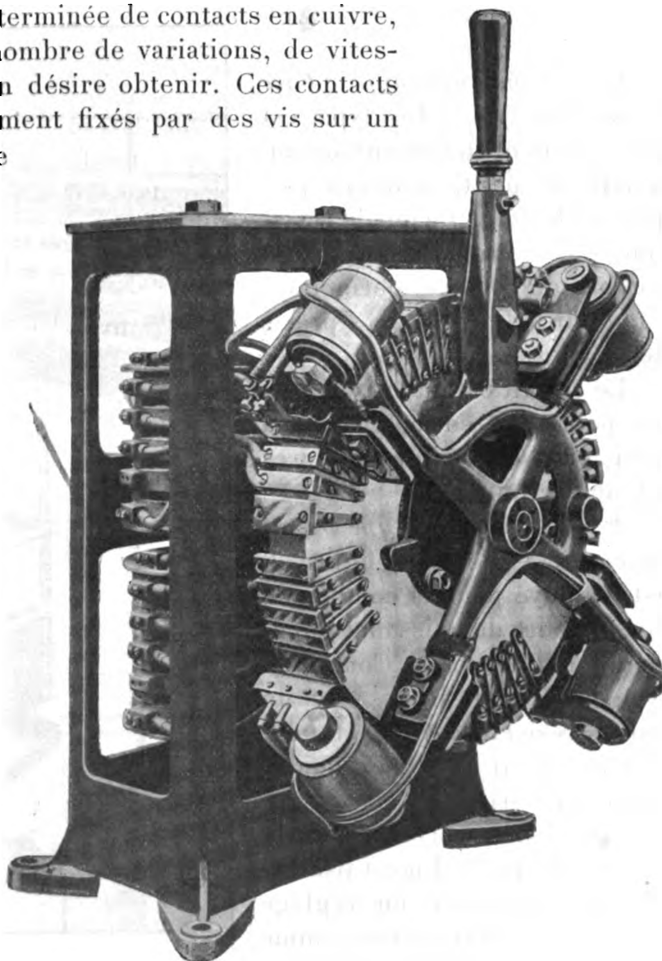


Fig. 2

Comme on peut s'en rendre compte, la disposition de ce contrôleur permet d'employer un plus grand nombre de contacts et par conséquent un plus grand nombre de vitesses sans que pour cela il atteigne des dimensions exagérées comme ce serait le cas si l'on avait adopté la forme générale des contrôleurs de tramways.

Les résistances sont incombustibles et composées de bobines superposées les unes aux autres, formant des colonnes disposées dans la caisse du contrôleur. Chaque bobine contient la matière résistante convenablement enroulée et isolée avec du mica et de l'amiante.

La Société Westinghouse au lieu de construire ces appareils en série, (comme le font beaucoup d'autres constructeurs) préfère déterminer les résistances à employer avec chaque contrôleur, d'après un examen détaillé des conditions suivant

lesquelles le moteur doit fonctionner, les durées de travail aux diverses charges et les temps de repos.

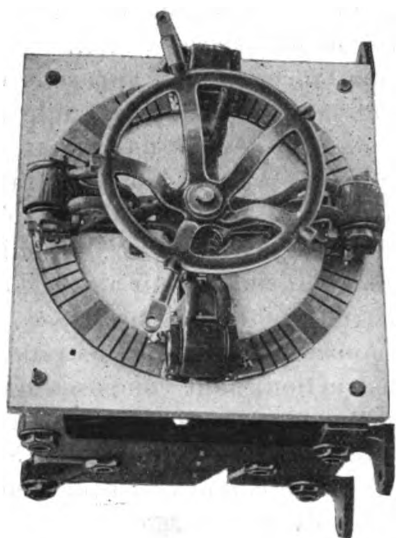


Fig. 3

Le dégagement de la chaleur est assuré par la fabrication de résistances spéciales du type dit " ventilé ", présentant à l'atmosphère environnante une grande surface de rayonnement.

Chaque contrôleur est muni d'un système de bobines de soufflage magnétique, montées à chaque extrémité de quatre bras en croix, qui supportent les balais de contact. Ce dispositif est constitué par des électros dont l'enroulement est traversé par le courant même qui passe dans le moteur. Les pôles de chaque électro sont disposés de manière à ce que la rupture du courant se produise au milieu d'un champ magnétique très fort, rendant ainsi impossible le maintien d'un arc.

La Société Westinghouse construit deux types de contrôleurs.

1°. — *Contrôleur type " Face en marbre ".* — Ce type est généralement établi pour la commande de petits moteurs jusqu'à 10 chevaux. Le jeu de résistances est réparti sur un grand nombre de contacts permettant d'obtenir un réglage très précis de la vitesse.

Le circuit est ouvert en quatre points en série, ce qui a pour effet de réduire les arcs à leur maximum.

2°. — *Contrôleur type " Collecteur ".* — Ce type, figure 2, est employé pour la commande des moteurs de puissance supérieure à 10 chevaux. Comme le type précédent, il possède un jeu de résistances très étendu, et a le circuit ouvert en quatre points en série.

Pour les services très durs et pour lesquels il n'est pas nécessaire d'obtenir un réglage très sensible de la vitesse, comme par exemple dans les trains de laminoirs, treuils d'extractions, etc..., où les démarrages et le changement de sens de

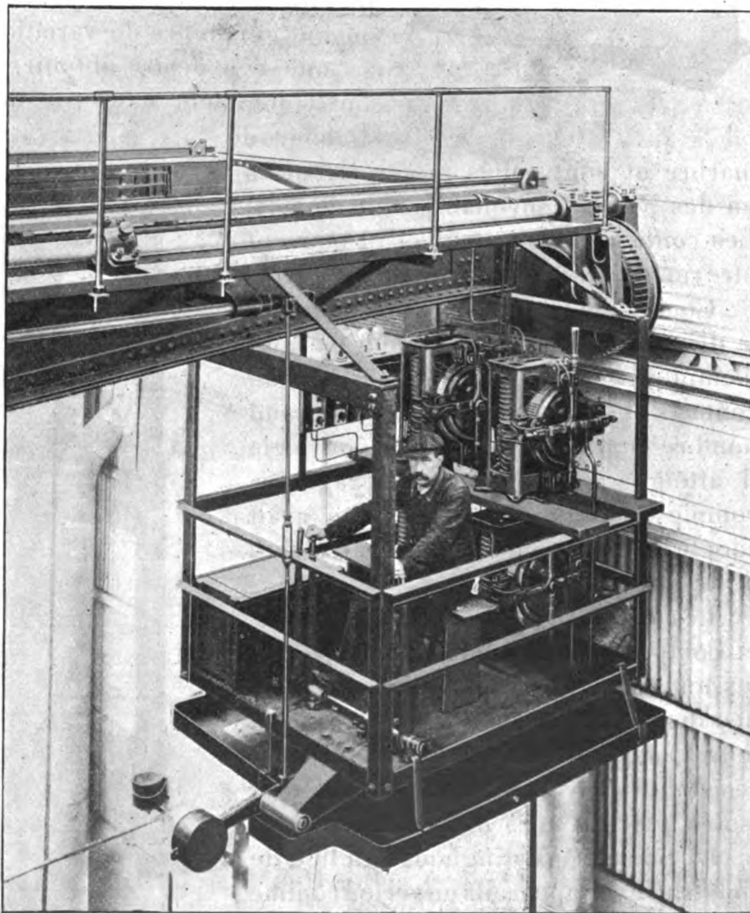


Fig. 4

marche sont très brusques et très fréquents, la Société Westinghouse établit des contrôleurs de ce dernier type spécialement calculés pour résister à ces travaux.

Bien que la forme courante des appareils décrits ci-dessus, soit celle des figures 1 et 2, la Société Westinghouse construit, selon l'emplacement disponible dans la cage des ponts-roulants ou autres engins, des contrôleurs ayant le collecteur disposé comme dans la figure 3, ayant pour effet de réduire leur encombrement en épaisseur.

Le mécanicien peut commander le moteur en agissant directement sur la manette qui se trouve montée sur le croisillon du contrôleur, mais pour les ponts-roulants, il est préférable de faire la manœuvre par des leviers et tringles comme on peut le voir sur la figure 4 qui montre la cage d'un pont-roulant de 30 tonnes desservant depuis trois ans et demi une travée de l'Usine de la Société Anonyme Westinghouse du Havre.

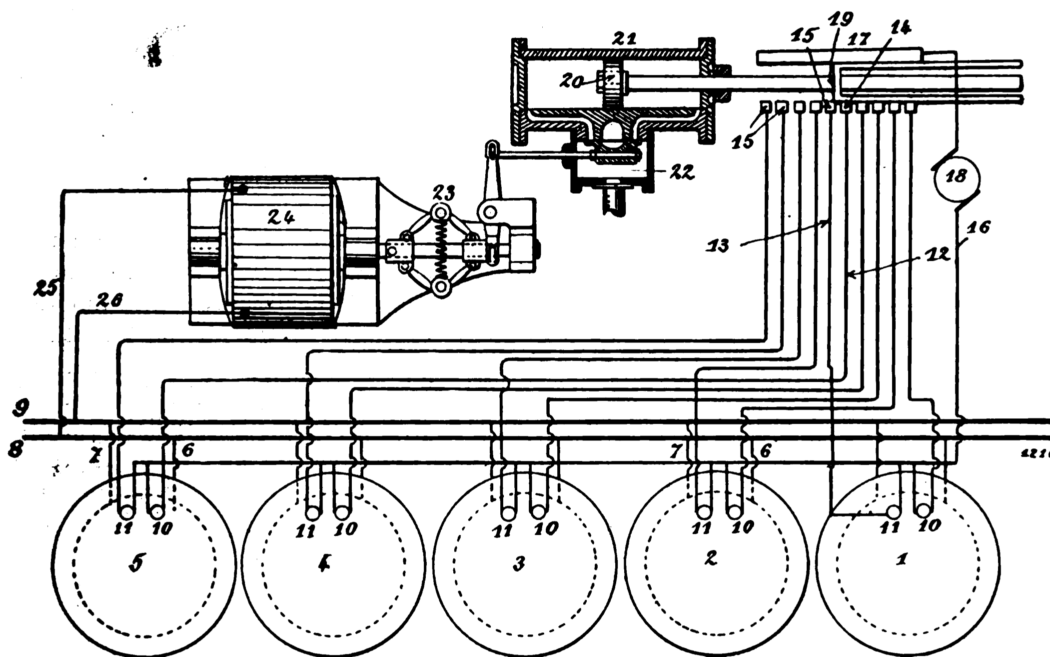
J. Reyval

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Dispositif C. G. Curtis pour la répartition électro-automatique de la charge sur un groupe de turbines à vapeur actionnant des dynamos. The Electrical Magazine, 26 Mai 1904.

Ce dispositif est représenté par le diagramme fig. 1. Les doubles cercles figurent chacun un groupe turbine et dynamo, cette dernière étant reliée aux barres omnibus communes 8, 9. La manœuvre des soupapes régulatrices s'exécute à l'aide d'électros dont, pour plus de clarté, deux seulement sont représentés dans le dessin : l'un, 10, pour la soupape de pleine charge ; l'autre



Fi5. 1

11, pour celle de surcharge. Tous sont reliés chacun séparément par les conducteurs 12, 13, à

des contacts 14, 15 disposés sur une seule rangée en face d'une bande de contact 17 connectée à la source d'énergie et au conducteur commun d'excitation de tous les électros. Le circuit est complété entre les touches et la bande 17 par une fourche 19, solidaire de la tige d'un piston 20 du cylindre 21. Le déplacement du piston est provoqué par un liquide sous pression qui y pénètre par le jeu du tiroir 22, lequel règle le sens de l'introduction et de l'échappement suivant le mouvement qui est imprimé à l'articulation qui le relie à la glissière du régulateur centrifuge 23 fixé sur le prolongement de l'axe d'un moteur synchrone 24.

Au démarrage, le piston doit être refoulé à gauche de façon à ce que tous les contacts soient recouverts par la fourche 17. On excite d'abord tous les électros pour provoquer l'ouverture des soupapes de réglage de toutes les turbines, puis on ouvre le registre d'admission de la première à mettre en marche. Dès que la dynamo qu'elle entraîne a atteint sa vitesse normale, on ferme le commutateur la reliant aux barres omnibus ainsi que celui du circuit du moteur. Ce dernier se met aussitôt en marche à la même vitesse que la dynamo. Le mouvement imprimé, par suite, au régulateur fait déplacer le tiroir pour permettre l'introduction sur la face gauche du piston et le faire se déplacer vers la droite jusqu'à ce que la fourche ne ferme plus que les contacts correspondant à un fonctionnement normal.

En supposant que toutes les turbines sont en marche et leurs dynamos reliées aux barres omnibus, le fonctionnement des appareils de réglage sera le suivant: En donnant, au début, une charge peu élevée à la première dynamo, la fourche est supposée ne couvrir que le dernier contact de droite 14, position qui correspond à l'ouverture de la soupape de pleine charge de la première turbine. Si on augmente la charge de la dynamo, celle-ci perd de sa vitesse de même que le moteur synchrone. Par suite, le ralentissement du régulateur centrifuge donne lieu à un déplacement du piston vers la gauche ce qui permet à la fourche de fermer le contact suivant, 14, afin d'ouvrir la soupape de pleine charge de la deuxième turbine et répartir la surcharge en égales proportions dans chacun des deux groupes. Aussitôt l'équilibre rétabli, le moteur reprend sa vitesse normale et, le piston sa position intermédiaire d'immobilité. La même opération se reproduit successivement de la même façon pour chacun des autres groupes et aussi inversement quand la charge diminue.

L. D.

***Les Condensateurs à haute tension* par J. Moscicki.** (1)

En dirigeant à Fribourg (Suisse) les installations industrielles destinées à la production de l'acide nitrique par décharges électriques dans l'air, j'ai craint de voir mes recherches compromises par un sérieux obstacle : je ne disposais pas de condensateurs à haute tension. On essaya au début deux types de condensateurs construits pour des tensions de 10.000 à 12.000 volts : le condensateur plan de la fabrique de câbles Borel et Cie à Neufchâtel et le condensateur du professeur Lombardi de la maison Tedeschi et Cie à Turin. Ils ne supportaient pas les hautes tensions auxquelles ils étaient soumis et n'étaient pas d'un emploi pratique. Dans le premier système, le diélectrique était constitué par des couches alternatives de papier et d'étoffe; l'ensemble était imprégné d'une composition isolante à base d'huile de lin et de colophane. Le fonctionnement de l'appareil était satisfaisant en été, mais quand la température s'abaissait au-dessous de + 8° C, les feuilles de papier et d'étoffe se désagrégeaient et cessaient de former avec la matière isolante un tout compact. Il se produisait alors entre les armatures des décharges superficielles qu'un sifflement continu permettait de percevoir; il en résultait bientôt un court-circuit. J'ai soumis 48 condensateurs de ce modèle à une tension de 12.000 volts pendant quatre heures consécutives : aucun n'a résisté à cette tension. Les condensateurs Lombardi, dont le diélectrique est formé de lames de cérésine de 2^{mm} d'épaisseur, m'ont donné des résultats plus satisfaisants ; ils supportèrent en effet la tension d'épreuve pendant un temps très court. L'usine Tedeschi les garantissait pour 5.000 volts, mais non pour 10.000 volts; j'ai constaté pour cette dernière tension un sifflement presque imperceptible et j'en ai fait l'observation au professeur Lombardi pendant un séjour qu'il fit à Fribourg. A mon avis, cet inconvénient a pour cause les décharges superficielles qui se produisent entre les bords des armatures par suite d'une isolation insuffisante. Après les derniers

(1) Cette étude a été publiée par M. J. Moscicki dans l'Elektrotechnische Zeitschrift de Berlin (N°s 25 et 26, 1904).

perfectionnements apportés par M. Lombardi à son ancien type de condensateur, ce défaut a pu être éliminé, même pour une tension de 10.000 volts.

Néanmoins je me suis décidé à renoncer à ce système de condensateur, car, outre l'inconvénient déjà signalé, le prix de revient de la matière première en était trop élevé (50 frs par kilovolt-ampère). J'ai donc résolu d'entreprendre moi-même la construction de condensateurs industriels. Je me suis bientôt rendu compte des difficultés que présente cette fabrication ainsi que des côtés faibles du condensateur plan en général. Il est nécessaire tout d'abord que la lame isolante forme avec les armatures un ensemble parfait, afin d'éviter des décharges superficielles. On obtient ce résultat en immergeant le condensateur dans une substance isolante liquide susceptible de pénétrer entre les lamelles du diélectrique, qui doit remplir deux conditions essentielles : résister à la fusion aux températures relativement élevées et conserver son homogénéité, sans se désagréger, même quand il est soumis à un refroidissement. Il est évident que la substance isolante doit aussi jouir de ces deux propriétés.

Or les condensateurs plans présentent presque toujours deux inconvénients : la résistance diminue vers les bords du diélectrique et le refroidissement reste insuffisant : de là un échauffement, puis une désagrégation de la masse isolante mal refroidie, ce qui occasionne des pertes assez considérables. Je me suis cependant servi, au début de mes recherches, d'un condensateur plan dont le diélectrique était en verre, car le pouvoir inducteur spécifique de cette substance est relativement élevé. Mais, d'après Lombardi (1), les pertes diélectriques s'élèvent à 7 °/o pour le verre ; cette constatation m'a déterminé à poursuivre mes recherches avec d'autres corps, en particulier avec la cire fossile. Ces diverses substances ne m'ayant pas donné de résultats satisfaisants, j'ai fait de nouvelles expériences avec le verre qui ne m'a pas donné de pertes supérieures à 1,5 °/o. J'ai employé à cet effet un tube de verre dont l'armature intérieure était constituée par du mercure et l'armature extérieure par une feuille d'étain. Ce tube était noyé dans une masse isolante dont le volume était assez considérable. J'ai déterminé ces pertes par l'élévation de température du mercure produite par la chaleur dégagée, dont la masse isolante empêchait toute déperdition. Après avoir taré le tube, on obtenait facilement par le calcul l'énergie correspondant à la chaleur développée et l'on en déduisait la valeur approximative des pertes du condensateur.

J'ai employé pour la fabrication de mes premiers condensateurs du verre à vitre ordinaire de 2^{mm} d'épaisseur. La lame diélectrique bien séchée était recouverte sur une face d'une feuille d'étain, collée avec de la térébenthine ; dans cette opération, on prenait toutes les précautions nécessaires pour éviter la formation de bulles d'air. L'ensemble formé par le diélectrique et les armatures était placé ensuite dans un four électrique où l'on maintenait pendant quelque temps une température dépassant + 100° C. A leur sortie du four et avant de les laisser se refroidir, les lames de verre étaient placées dans une caisse en fer blanc contenant une substance isolante, chauffée électriquement à l'aide d'une résistance disposée sous la caisse ; on les tenait verticalement pour les immerger, puis on les retournait lentement dans la position horizontale afin d'éviter l'interposition de bulles d'air entre deux plaques consécutives. Quant aux bulles se dégageant à la surface de la masse isolante, on les faisait disparaître par un jet d'oxyde de carbone, ce gaz ne permettant pas la formation de l'eau inévitable avec du gaz d'éclairage. Une fois toutes les plaques placées, on cessait de chauffer la caisse que l'on entourait d'une enveloppe afin d'obtenir un refroidissement aussi lent que possible.

J'ai éprouvé de grandes difficultés à composer une substance isolante convenable, adhérant parfaitement au verre et ne se désagrégeant pas sous l'action d'une basse température. A cet effet, j'ai fait de nombreux essais avec divers mélanges de cire fossile, de colophane, de vaseline, etc... exposés au froid, après avoir été versés à l'état liquide dans une éprouvette. J'ai trouvé ainsi un mélange paraissant insensible aux variations de température et adhérant parfaitement au verre ; il est composé de 4 parties de colophane, 1 partie de cire fossile de Boryslaw et 1 partie de vaseline.

A l'aide du procédé que je viens d'indiquer, j'ai construit 72 caisses de condensateurs qui, montés 6 par 6 en série, constituaient des batteries dont la puissance atteignait 3 kilovolt-ampères sous l'action d'un courant d'une fréquence de

(1) Lombardi, Elektrotechnische Zeitschrift, 1899, P. 714.

50 périodes par seconde. Chaque caisse a 9,5 cm. de hauteur et une surface de 23 × 35 cm ; elle pèse 15 kg. et contient 21 plaques de verre de 20 × 28,5 cm. de surface, tandis que les feuilles d'étain appliquées n'ont que 22,5 × 16,5 cm.

On a constaté, dans les conditions d'utilisation normale, qu'un groupe de 6 condensateurs pouvait supporter une tension de 50.000 volts; mais à ce régime il ne pouvait rester en service pendant plus de huit heures consécutives, car il se produisait au bout de ce temps une élévation de température telle qu'on pouvait craindre la fusion de la masse isolante. Soumis à une tension de 5000 volts, ces condensateurs pouvaient rester en service sans interruption et pendant un temps illimité ; ils n'ont jamais donné lieu à un court-circuit, mais l'échauffement résultant d'un fonctionnement prolongé a produit une augmentation de pertes qui atteignaient 3 %. J'ai dès lors renoncé au condensateur plan pour adopter un type de condensateur cylindrique en verre, qui m'a permis d'obtenir des résultats fort remarquables.

La forme tubulaire présente d'abord l'avantage d'utiliser du verre mince. En effet, des expériences postérieures m'ont convaincu que du verre de 0,5 m/m d'épaisseur peut supporter des tensions allant jusqu'à 67.100 volts. Néanmoins les parties avoisinant le bord des armatures sont perforées assez rapidement; dans cette zone le même verre de 0,5 m/m d'épaisseur ne supporte guère que 11.700 volts : donc la résistance y est moins considérable que vers l'intérieur des armatures. Des expériences minutieuses, destinées à déterminer la tension de perforation des différentes zones du condensateur, m'ont amené à renforcer la paroi du diélectrique vers les bords des armatures. La forme tubulaire se prête mieux que toute autre à cette exigence.

L'emploi de tubes présente en outre le grand avantage de permettre un refroidissement aussi facile que celui que l'on obtient dans les transformateurs par leur immersion dans l'huile. Enfin, à l'aide d'un isolant convenable, on peut supprimer complètement les pertes par conductance superficielle ainsi que les décharges silencieuses : d'où une augmentation considérable de rendement. Ainsi, avec du courant alternatif à haute tension et à la fréquence de 50 périodes par seconde, les pertes n'ont pas dépassé 1 %.

Un condensateur d'une puissance de 0,5 kilovolts-ampère (fig. 1) comprend cinq tubes, dont les parois ont 0,5 m/m d'épaisseur et dont le diamètre est de 3 cm. ; ces tubes sont logés dans un récipient cylindrique en verre de 9 cm. de diamètre et 47 cm. de hauteur. Le poids de l'ensem-

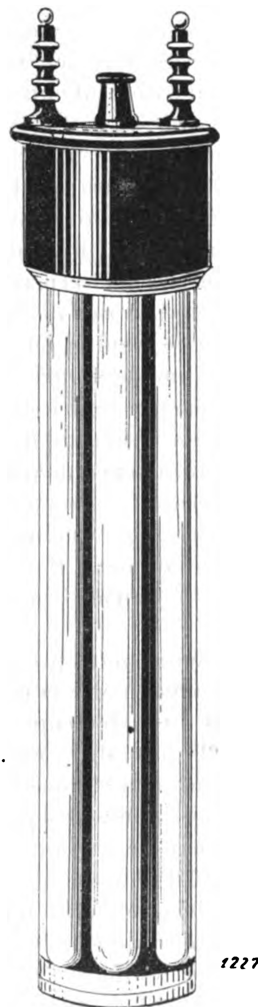


Fig. 1

ble varie entre 3 kg. et 3,5 kg. Quant au prix de revient par kilovolt-ampère, il est relativement peu élevé (1).

L'adoption de ce nouveau système m'a contraint à soumettre les diélectriques à de nombreuses expériences portant spécialement sur les deux points suivants : résistance à la perforation et pertes. Les résultats obtenus font supposer de

(1) La première usine, destinée à la fabrication de ce type de condensateur, vient d'être fondée à Fribourg (Suisse) sous la raison sociale : J. de Modzelewski, Fabrique suisse de condensateurs électriques, système Moscicki.

nouvelles applications industrielles des condensateurs : en conséquence, j'ai tenu à entrer dans tous les détails de leur fabrication.

A. — *De la résistance des diélectriques à la perforation (Mémoire présenté à l'Académie des Sciences de Cracovie)* (1).

J'ai choisi pour mes premières expériences des lames de verre à vitre ordinaire de 2 m/m d'épaisseur, recouvertes sur chaque face d'une feuille d'étain qui s'arrêtait à 5 cm. des bords du diélectrique. Tous les essais faits en immergeant ces lames dans un bain d'huile donnèrent le même résultat : le verre était perforé vers les bords des armatures. Cette expérience présente le plus haut intérêt, surtout si on la compare à celle qui va suivre. Un tube de verre de 0,3 m/m d'épaisseur, fermé à l'une de ses extrémités et rempli de mercure, était recouvert extérieurement d'une feuille d'étain laissant le col à découvert sur une hauteur de 20 cm. ; il supportait à l'air libre une tension de 24000 volts, tandis que les lames de verre de 2 m/m d'épaisseur étaient perforées même sous l'action de courants à basse tension. Il se produisait vers le bord supérieur de l'armature extérieure des étincelles visibles surtout dans l'obscurité : leur longueur augmentait avec la tension du courant alternatif employé.

La contradiction, plus apparente que réelle, qui semble résulter de ces deux observations s'explique sans difficulté. Dans le premier cas, l'excellent isolant constitué par l'huile, dans laquelle sont immergées les feuilles d'étain, délimite exactement l'armature et provoque sur ses bords un accroissement de densité des lignes de force, ce qui entraîne la perforation du diélectrique. Les circonstances sont différentes dans le cas du tube essayé à l'air libre ; la vapeur d'eau de l'atmosphère se condense vers le col non recouvert d'étain, et l'armature extérieure ne présente plus par suite un bord délimité électriquement. Une condensation des lignes de force devient évidemment impossible. La résistance ohmique, très élevée dans la zone d'humidité, entraîne forcément une chute de tension considérable et par suite une diminution de la densité des lignes de force.

Pour éviter l'influence de la vapeur d'eau sur la perforation, des tubes identiques à ceux dont nous avons parlé furent immergés dans l'huile, puis soumis à l'action du courant. Cette expérience a démontré que la perforation se produisait déjà à 8000 volts, vers le bord de l'armature comme précédemment. J'ai continué mes essais avec des condensateurs tubulaires en verre dont l'armature intérieure était constituée par du mercure et l'armature extérieure par une feuille d'étain. De minces feuilles de mica étaient enroulées en spirale sur les tubes, de telle sorte qu'elles se trouvaient en triple ou quadruple épaisseur vers le bord de la feuille d'étain et un peu au delà ; la distance de l'extrémité supérieure du tube au bord de l'armature extérieure comportait 6 cm.

Quelques tubes ne furent pas recouverts de mica afin de déterminer plus exactement l'influence de ce diélectrique ; mais tous les condensateurs étaient immergés dans l'huile. Les tubes ordinaires sans mica de 0,3 m/m d'épaisseur ont été perforés à 8000 volts au bord de l'armature, tandis que les mêmes tubes munis d'une garniture de mica ont supporté jusqu'à 17.000 volts. Dans les deux types la perforation s'est cependant produite à la même place. Après un certain nombre d'expériences, l'huile perdait de sa pureté et ne constituait plus un isolant parfait. Les circonstances étaient alors différentes : le diélectrique était perforé dans ce cas à l'extrémité de la garniture de mica où la résistance était moindre qu'au bord de la feuille d'étain.

L'expérience a démontré que le diélectrique auxiliaire ne doit pas avoir un pouvoir inducteur spécifique trop inférieur à celui du verre, sinon l'influence des bords devient de nouveau prépondérante et il y a perforation du mica vers la limite de l'armature : on peut donc conclure que c'est dans cette zone que les diélectriques sont soumis à l'action la plus énergique. Il reste maintenant à examiner quel mode de renforcement des bords il convient d'adopter pour provoquer la perforation vers l'intérieur des armatures.

J'ai choisi à cet effet des tubes cylindriques à parois minces, renforcés vers le col dont le diamètre était quelque peu réduit ; l'armature s'arrêtait sur la paroi épaisse. L'expérience a pleinement confirmé l'hypothèse précédemment admise, car il fallait une épaisseur de verre sensiblement plus forte vers les bords que vers l'intérieur du

(1) Voir Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie, janvier 1904.

condensateur pour que cette dernière zone fût perforée. Nos recherches ont montré aussi que la tension critique atteignait des valeurs fort différentes pour un même condensateur, si l'on considère le bord ou la zone intérieure du diélectrique ; par suite il y a lieu d'étudier les rapports existant entre la tension d'une part, la nature et l'épaisseur de la lame isolante d'autre part. Nous examinerons en outre l'importance que peut avoir la zone considérée dans le condensateur et la fréquence du courant employé. Les études qui vont suivre ont été faites avec le concours de M. K. Kasperowicz.

Installations électriques destinées à nos expériences

Avec du courant alternatif à 160 volts et à la fréquence de 50 périodes par seconde, distribué par l'usine hydro-électrique de Hauterive, près Fribourg (Suisse), nous avons pu procéder à une série d'expériences avec des tensions comprises entre 4000 et 8000 volts. Un transformateur de 10 kw., dont les enroulements primaire et secondaire étaient sectionnés en deux groupes distincts, nous donnait les rapports 110-220 à 4000-8000 volts, suivant que les groupes étaient associés en

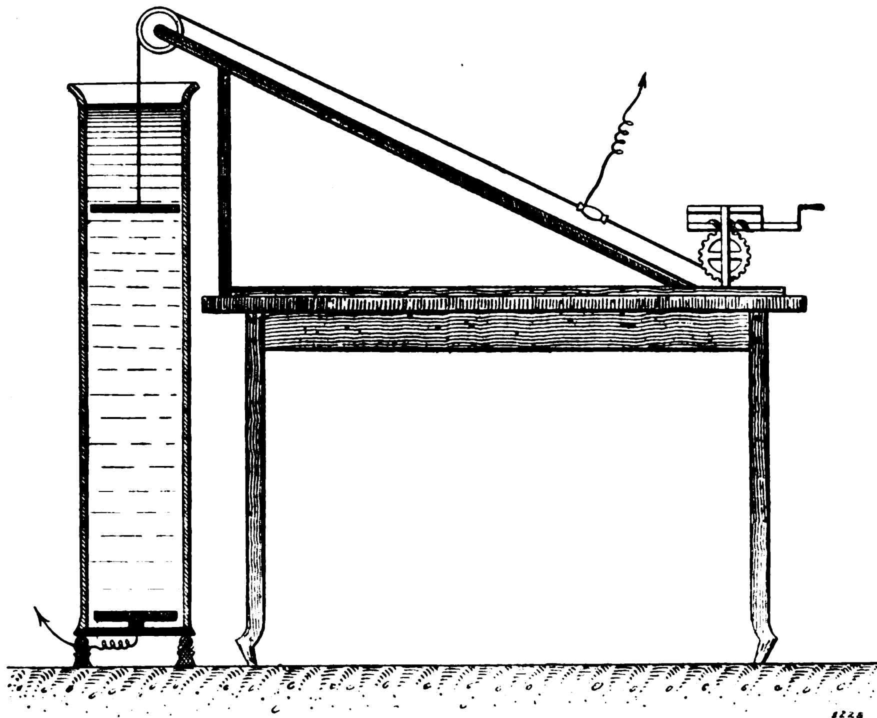


Fig. 2

série ou en quantité. Les tensions voisines de 80000 volts nous étaient fournies par un transformateur à huile de 3,5 kw. de la maison Brown, Boveri et Cie à Baden (Suisse) : son rapport était de 70 à 50.000 volts ; bien qu'il ne fût construit que pour cette dernière tension, il supportait parfaitement 80000 volts comme nous en avons fait l'expérience à plusieurs reprises. Un point essentiel pour nos essais était d'arriver à un réglage exact de la tension dont la valeur ne devait osciller qu'entre des limites très rapprochées, sans être soumise à de brusques variations. L'emploi d'une résistance électrolytique, groupée en tension avec un rhéostat métallique et placée dans le circuit primaire, a permis de satisfaire entièrement à cette condition.

Cette résistance électrolytique (fig. 2) se composait d'un tuyau de grès de 120 ^{cm} de haut et de 20^{cm} de diamètre ; le fond, fermé à joint étanche, portait une plaque de fonte de 18 ^{cm} de diamètre reliée à l'une des bornes du transformateur et soigneusement isolée par des supports en porcelaine. Quant à la seconde électrode, elle était aussi constituée par un disque de fonte, qui, grâce à un système de poulies, pouvait se mouvoir verticalement dans le sens de l'axe du tuyau:

on pouvait ainsi faire varier sa distance à la plaque de fond. L'électrolyte se composait d'une solution de sel de cuisine. Un interrupteur bipolaire, placé dans le circuit primaire, permettait d'interrompre le courant à chaque instant, même pendant les lectures sur les instruments. On mesurait la tension sur le circuit primaire à l'aide des appareils suivants : jusqu'à 30 volts avec un milli-ampèremètre de Siemens et Halske, gradué jusqu'à 30 milli-ampères par 1/5 de milli-ampère; sa résistance intérieure comportait 1200 Ω sous l'action du courant alternatif. Au delà de 30 volts, on se servait d'un voltmètre à fil de résistance de Hartmann et Braun, dont la graduation, comprenant 130 divisions, permettait des lectures de 65, 130 et 260 volts par l'emploi de résistances additionnelles.

Le tube soumis à l'essai était placé sur une couche de matière isolante, puis introduit dans le circuit à haute tension du transformateur dont l'enroulement primaire était associé en série avec une résistance assez forte pour éviter la perforation du diélectrique. Le circuit restait fermé pendant le temps nécessaire à la mesure de la tension primaire ; on l'ouvrait ensuite et l'on diminuait la résistance électrolytique afin d'augmenter le voltage : on fermait alors le circuit puis on faisait une nouvelle lecture au voltmètre. Cette opération était répétée jusqu'à la perforation du diélectrique.

Afin d'obtenir la tension critique avec toute l'exactitude désirable, on diminuait la résistance du rhéostat électrolytique à mesure que l'on s'en approchait, et, l'on enregistrait seulement la tension qui la précédait immédiatement, la lecture au voltmètre étant impossible au moment de la perforation. Le circuit restait fermé pendant le temps strictement nécessaire à l'observation, afin que l'élévation de température ne puisse diminuer la résistance du tube. Après l'expérience on mesurait l'épaisseur du diélectrique à l'aide d'un micromètre donnant le 1/100 de millimètre, chaque division ayant environ $2^{m}/_{m}$ de champ ; cette épaisseur était déterminée en divers points de la zone perforée et la valeur minimale ainsi obtenue correspondait à la tension critique.

Résultats des expériences.

Le but de nos premières expériences était de déterminer la tension critique vers les bords des armatures. A cet effet, nous choisîmes des tubes de verre fermés à une extrémité et des tubes obtenus par le forage partiel de baguettes d'ébonite. L'armature extérieure, formée par un dépôt d'argent précipité à l'aide du procédé chimique de Bottger, recouvrait le tiers de la hauteur du tube dont l'intérieur contenait du mercure. Le tube, équipé pour les essais (fig. 3), est renfermé dans un cylindre en verre de 30^{cm} de hauteur porté par un support en ébonite et rempli d'huile ;

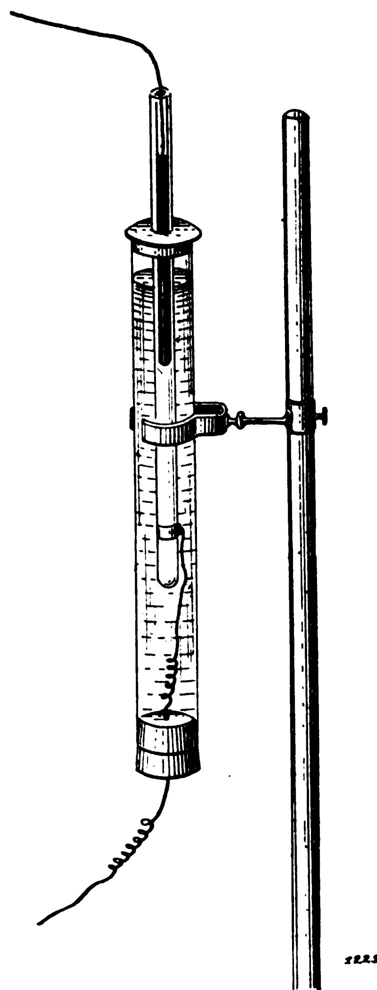


Fig. 3

le bas de ce cylindre est fermé par un bouchon de caoutchouc traversé par le fil amenant le courant à l'armature extérieure. Ce fil est relié à une bague de cuivre, large de $2\text{-}3^{cm}$, fixée au tube par l'intermédiaire d'une mince feuille d'étain. Le cylindre est fermé au col par un couvercle d'ébonite laissant passer le tube d'épreuve qui est immergé dans l'huile aux 2/3 de sa hauteur ; un fil de cuivre plonge dans le mercure consti-

tuant l'armature intérieure et la relie à la source d'électricité. Les essais ont porté sur trois qualités de verre, puis sur l'ébonite.

(1) Verre alcalin ordinaire de Bohême servant à la confection des éprouvettes.

(2) Verre non alcalin de la maison Schott et Cie à Iéna, n° 477 III.

(3) Verre de thermomètre au silicate de bore provenant de la même fabrique, n° 59 III.

Les tables qui vont suivre donnent les résultats des expériences que nous avons effectuées ; le diagramme de la fig. 4 en facilite la lecture.

Le diagramme 5, établi d'après la table 1 colonne 4, montre que l'épaisseur du diélectrique varie avec le carré de la tension critique.

Nous avons procédé ensuite à de nouvelles expériences dans le but de provoquer la perforation vers l'intérieur des armatures. A cet effet, nous

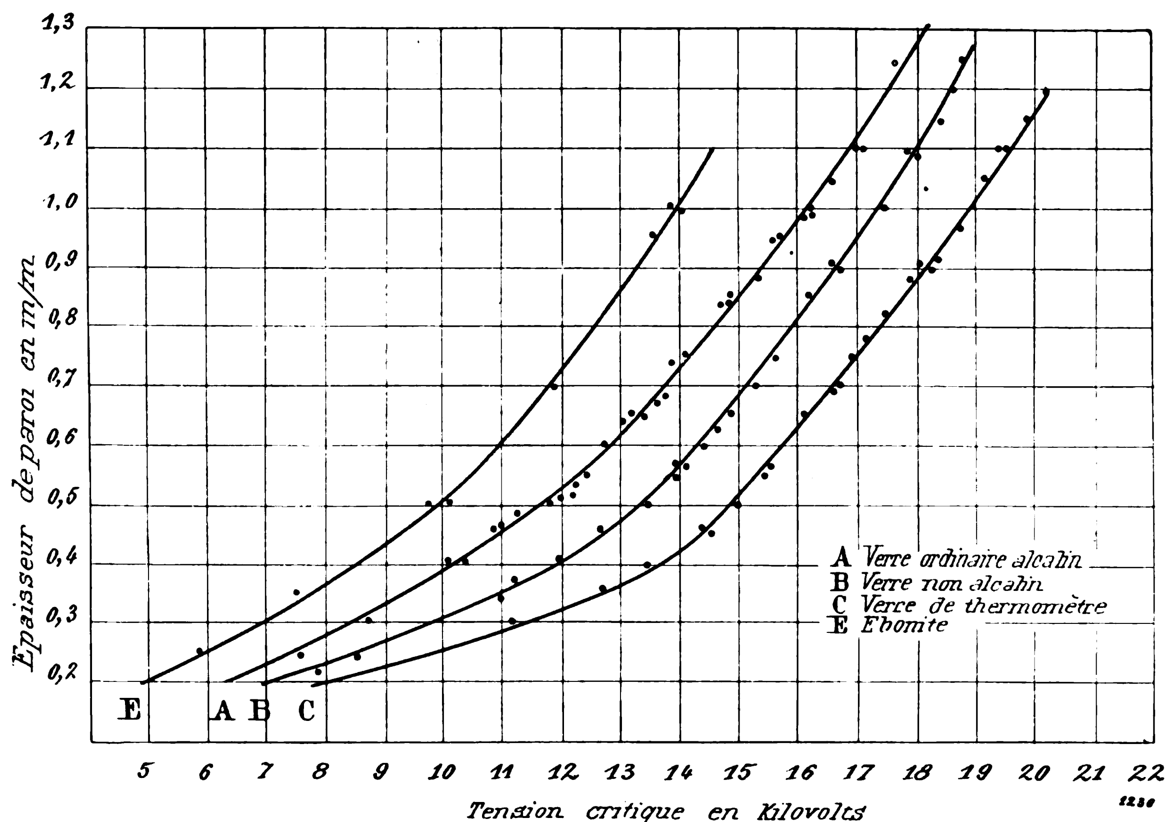


Fig. 4

avons choisi un tube à parois épaisses soigneusement fermé à l'une de ses extrémités. En l'étirant à la flamme, nous obtenions une ampoule sphérique à parois relativement minces, que, nous faisions coïncider avec la zone médiane de la couche d'argent constituant l'armature extérieure, afin d'éviter qu'elle soit perforée par l'étincelle électrique. Ce tube était argenté jusque vers le col où la paroi était assez forte. Néanmoins aux hautes tensions, la paroi n'a jamais atteint une épaisseur suffisante pour empêcher la perforation des bords. Pour obtenir ce résultat, nous avons dû avoir recours à un revêtement supplémentaire confectionné avec la matière isolante dont nous avons parlé (cire fossile, colophane et vaseline). Ce revêtement, pour répondre à son but exigeait beaucoup de soins, car il était indispensable que l'épaisseur du diélectrique varie insensiblement. Autour de ce revêtement, on enroulait une feuille d'étain et le courant était amené sur une bague de cuivre, analogue à celle de l'expérience précédente, fixée sur la partie épaisse du tube que l'on engageait dans un disque d'isolite couvrant le bord de l'armature extérieure. On coulait alors sur ce disque une masse de substance isolante qui entourait l'extrémité libre du tube, afin d'é-

TABLE I

VERRE ORDINAIRE ALCALIN

ÉPAISSEUR DE PAROI EN m/m	DIAMÈTRE EXTÉR. DU TUBE EN m/m	TENSION CRITIQUE DE PERFORATION AU BORD EN VOLTS	CARRÉS DE LA TENSION CRITIQUE
$10\,\delta$	d	v	v^2
0.20	14.5	6 400	410.10^{5}
0.25	14.4	7 600	578.10^{5}
0.30	15.2	8 750	766.10^{5}
0.30	15.1	8 740	764.10^{5}
0.40	11.2	10 250	$1\ 050.10^{5}$
0.41	11.3	10 500	$1\ 102.10^{6}$
0.41	11.4	10 450	$1\ 092\ 10^{5}$
0.45	11.4	10 920	$1\ 192.10^{5}$
0.45	11.4	10 930	$1\ 194.10^{5}$
0.47	11.0	11 320	$1\ 281.10^{5}$
0.50	24.5	11 650	$1\ 357.10^{5}$
0.50	24.9	11 650	$1\ 357.10^{5}$
0.50	17.7	11 720	$1\ 373.10^{5}$
0.50	20.2	11 650	$1\ 357.10^{5}$
0.51	10.8	12 000	$1\ 440.10^{5}$
0.51	14.5	11 860	$1\ 406.10^{5}$
0.51	15.5	12 000	$1\ 440.10^{5}$
0.52	10.8	12 175	$1\ 482.10^{5}$
0.53	15.3	12 170	$1\ 481.10^{5}$
0.53	15.2	12 200	$1\ 488.10^{5}$
0.53	17.5	12 100	$1\ 464.10^{5}$
0.55	12.2	12 400	$1\ 537.10^{5}$
0.55	14.8	12 360	$1\ 527.10^{5}$
0.55	14.6	12 380	$1\ 532.10^{5}$
0.55	13.6	12 300	$1\ 512.10^{5}$
0.60	14.5	12 730	$1\ 623.10^{5}$
0.60	14.7	12 780	$1\ 633\ 10^{5}$
0.60	17.6	12 750	$1\ 625.10^{5}$
0.60	15.2	12 800	$1\ 638.10^{5}$
0.61	14.7	12 900	$1\ 664.10^{5}$
0.61	14.5	12 850	$1\ 651.10^{5}$
0.64	18.2	13 000	$1\ 690.10^{5}$
0.65	16.8	13 300	$1\ 768.10^{5}$
0.65	17.0	13 250	$1\ 755.10^{5}$
0.65	16.5	13 280	$1\ 763.10^{5}$
0.65	16.2	13 400	$1\ 795.10^{5}$
0.67	16.8	13 600	$1\ 849.10^{5}$
0.68	15.4	13 750	$1\ 890.10^{5}$
0.68	15.3	13 680	$1\ 871.10^{5}$
0.70	30.5	13 700	$1\ 876.10^{5}$
0.70	24.3	13 750	$1\ 890.10^{5}$
0.74	20.4	13 870	$1\ 923.10^{5}$
0.75	20.2	14 150	$2\ 002.10^{5}$
0.75	20.4	14 200	$2\ 016.10^{5}$
0.80	8.5	14 640	$2\ 124.10^{5}$
0.80	8.4	14 600	$2\ 131.10^{5}$
0.80	8.4	14 650	$2\ 146.10^{5}$
0.81	8.6	14 650	$2\ 146.10^{5}$
0.81	8.8	14 700	$2\ 160.10^{5}$
0.84	7.8	14 800	$2\ 190.10^{5}$
0.84	7.7	14 750	$2\ 175.10^{5}$
0.84	7.8	14 850	$2\ 205.10^{5}$
0.85	10.3	14 900	$2\ 220.10^{5}$
0.85	10.2	15 000	$2\ 250.10^{5}$
0.85	10.3	14 950	$2\ 235.10^{5}$
0.88	24.5	15 320	$2\ 347.10^{5}$
0.90	7.8	15 460	$2\ 390.10^{5}$
0.90	7.5	15 400	$2\ 391.10^{5}$
0.91	7.9	15 460	$2\ 390.10^{5}$
0.95	7.4	15 800	$2\ 496.10^{5}$
0.95	7.4	15 800	$2\ 496.10^{5}$
0.95	7.5	15 750	$2\ 480.10^{5}$
0.96	7.5	15 860	$2\ 512.10^{5}$
0.99	7.8	16 290	$2\ 653.10^{5}$
0.99	7.8	16 200	$2\ 624.10^{5}$
1.00	8.2	16 250	$2\ 640.10^{5}$
1.00	8.3	16 250	$2\ 640.10^{5}$
1.05	12.5	16 600	$2\ 755.10^{5}$
1.05	12.6	16 000	$2\ 755.10^{5}$
1.10	12.8	17 000	$2\ 890.10^{5}$
1.10	12.7	17 100	$2\ 924.10^{5}$
1.20	16.8	17 600	$3\ 097.10^{5}$
1.20	16.5	17 600	$3\ 097.10^{5}$
1.25	9.2	17 680	$3\ 125.10^{5}$
1.26	9.3	17 700	$3\ 132.10^{5}$
1.30	12.4	18 250	$3\ 330.10^{5}$
1.33	12.4	18 300	$3\ 348.10^{5}$
1.50	14.2	20 240	$4\ 096.10^{5}$
1.50	14.8	20 400	$4\ 161.10^{5}$
1.55	12.8	21 000	$4\ 410.10^{5}$
1.55	18.2	20 980	$4\ 401.10^{5}$
1.65	19.5	21 750	$4\ 730.10^{5}$
1.72	14.4	22 300	$4\ 972.10^{5}$
1.73	14.5	22 300	$4\ 972.10^{5}$
1.75	14.5	22 450	$5\ 040.10^{5}$
2.35	18.2	24 000	$5\ 760.10^{5}$
2.50	18.2	27 000	$7\ 260.10^{5}$
2.60	17.3	27 100	$7\ 344.10^{5}$
2.70	17.5	27 150	$7\ 371.10^{5}$

TABLE II

(Verre non alcalin de l'Usine Schott & Cie a Iéna n° 477III)

Épaisseur de paroi en m/m	Diamètre extér. du tube en m/m	Tension critique de perforation au bord en volts	Épaisseur de paroi en m/m	Diamètre extér. du tube en m/m	Tension critique de perforation au bord en volts	Épaisseur de paroi en m/m	Diamètre extér. du tube en m/m	Tension critique de perforation au bord en volts
10 δ	d	v	10 δ	d	v	10 δ	d	v
0.20	10.2	6 950	0.50	6.2	13 400	0.80	7.7	15 980
0.20	10.2	7 000	0.50	6.3	13 480	0.85	15.2	16 250
0.23	10.5	7 910	0.55	8.2	13 900	0.85	14.8	16 300
0.24	10.4	8 400	0.57	8.0	14 000	0.90	9.6	16 650
0.25	10.4	8 500	0.57	8.2	14 120	0.90	9.6	16 680
0.30	12.4	9 750	0.60	9.5	14 400	0.90	10.0	16 700
0.35	12.2	10 900	0.60	9.6	14 420	0.95	8.4	17 000
0.35	12.4	10 950	0.62	8.9	14 480	0.95	8.4	17 000
0.35	12.5	10 900	0.63	9.9	14 600	0.97	8.3	17 150
0.36	14.0	11 000	0.65	10.0	14 850	1.00	9.1	17 380
0.37	12.8	11 200	0.65	9.8	14 900	1.00	9.5	17 400
0.40	8.2	12 000	0.70	10.3	15 250	1.10	7.8	18 000
0.40	8.2	12 100	0.70	15.4	15 250	1.10	7.8	17 950
0.40	8.3	11 900	0.75	9.4	15 560	1.15	7.9	18 300
0.40	8.2	12 000	0.75	9.4	15 600	1.20	12.4	18 650
0.45	9.4	12 750	0.77	9.5	15 760	1.20	12.4	18 650
0.45	9.5	12 800	0.80	7.8	15 950	1.24	12.6	18 750

TABLE III

(Verre de Thermomètre n° 59III)

10 δ	d	v	10 δ	d	v	10 δ	d	v
0.19	14.5	7 540	0.65	10.4	16 200	0.92	7.8	18 350
0.20	14.5	7 850	0.70	9.4	16 620	0.95	7.1	18 500
0.25	12.3	9 500	0.71	9.4	16 700	0.95	7.0	18 500
0.30	12.8	11 200	0.75	9.2	16 950	0.97	8.0	18 650
0.35	13.0	12 700	0.75	9.6	17 000	0.97	8.1	18 700
0.40	9.7	13 800	0.78	11.0	17 200	1.00	10.5	18 870
0.45	9.8	14 500	0.78	11.2	17 260	1.00	10.4	18 850
0.45	9.8	14 450	0.80	7.2	17 400	1.00	10.4	18 850
0.48	4.9	14 750	0.82	7.2	17 800	1.05	9.5	19 200
0.50	4.8	15 000	0.83	7.3	17 680	1.10	9.8	19 560
0.50	4.9	14 950	0.85	6.4	17 800	1.10	9.8	19 500
0.55	5.6	15 400	0.88	6.2	17 960	1.15	10.1	19 900
0.60	10.0	15 800	0.90	7.4	18 200	1.20	15.0	20 340
0.60	10.1	15 800	0.90	7.5	18 200	1.10	15.1	20 340
0.65	10.5	16 150	0.90	7.4	18 175			

viter des décharges entre les armatures. Les fig. 6 et 7 représentent le tube d'épreuve dépourvu et

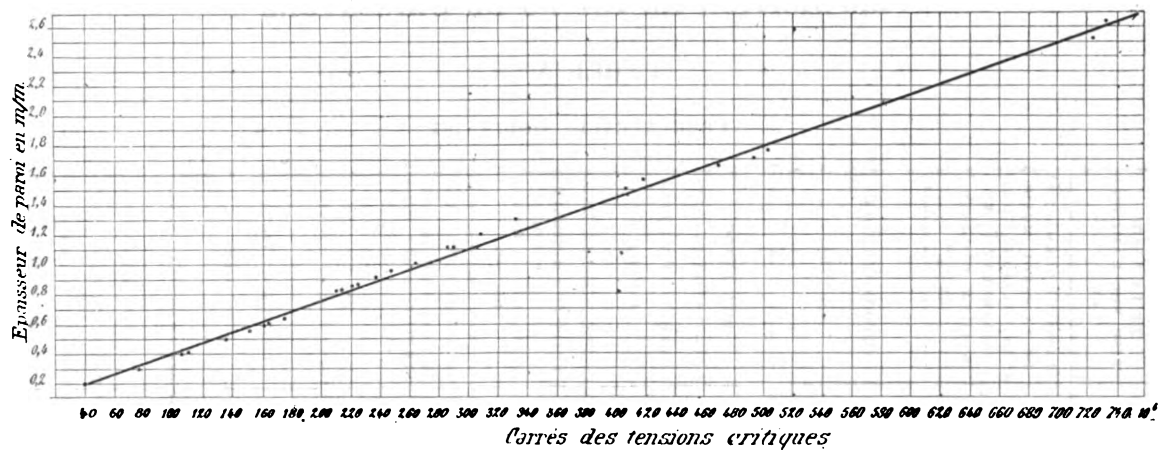


Fig. 5

muni de son revêtement ; elles complètent la description que nous venons de donner ; quant à la fig. 8, elle montre un tube d'ébonite obtenu par forage dans une barre pleine que l'on tourne extérieurement afin de réduire l'épaisseur de la paroi dans la zone médiane. Ce dernier tube, rempli de mercure, était plongé dans un bain du même métal qui constituait ainsi les deux armatures. Les expériences relatives aux tubes de verre furent effectuées à l'air libre et non dans un bain d'huile comme précédemment.

TABLE IV

ÉBONITE

10 δ	10 d	v	10 δ	10 d	v
0.20	14.8	4 800	0.50	15.1	10 100
0.20	14.7	5 000	0.70	15.4	11 850
0.25	13.5	5 860	0.95	16.0	13 550
0.25	13.6	5 900	1.00	16.1	14 100
0.35	14.9	7 500	1.00	16.1	13 850
0.50	15.0	9 640	1.10	18.2	14 600

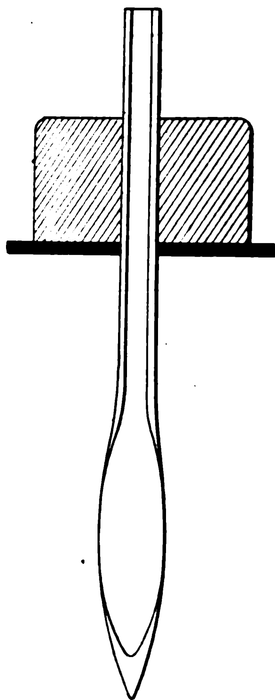


Fig. 6

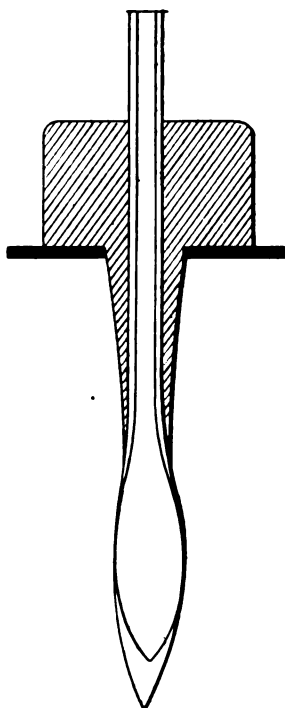


Fig. 7

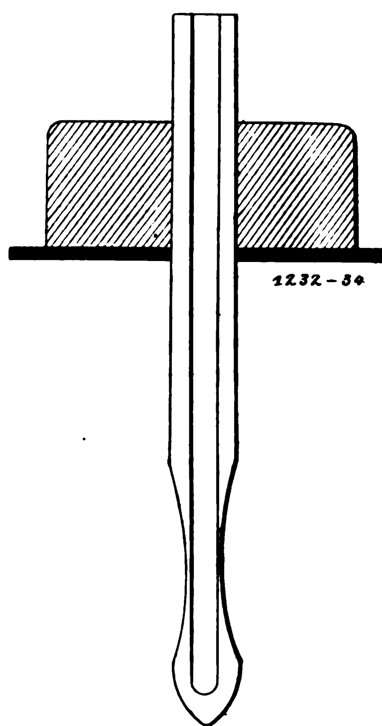


Fig. 8

PERFORATION AU MILIEU DE L'ARMATURE

TABLE V

VERRE ALCALIN ORDINAIRE

ÉPAISSEUR MINIMALE DE LA PAROI PRISE SUR L'AMPOULE EN m/m	ÉPAISSEUR NORMALE δ_1 DE LA PAROI, MUNIE ÉVENTUELLEMENT D'UN REVÊTEMENT δ_2 EN MATIÈRE ISOLANTE EN m/m	TENSION CRITIQUE EN VOLTS	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL EN VOLTS PAR CENT. D'ÉPAISSEUR DE PAROI	ÉPAISSEUR MINIMALE DE LA PAROI PRISE SUR L'AMPOULE EN m/m	ÉPAISSEUR NORMALE δ_1 DE LA PAROI, MUNIE ÉVENTUELLEMENT D'UN REVÊTEMENT δ_2 EN MATIÈRE ISOLANTE EN m/m	TENSION CRITIQUE EN VOLTS	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL EN VOLTS PAR CENT. D'ÉPAISSEUR DE PAROI
$10\,\delta$	$10\,\delta_1 + 10\,\delta_2$	v	$\frac{v}{\delta}$	$10\,\delta$	$10\,\delta_1 + 10\,\delta_2$	v	$\frac{v}{\delta}$
0.05	2.0	6 850	1 370.10^3	0.20	3.0	27 460	1 373.10^3
0.05	2.0	7 100	1 420.10^3	0.20	3.0	27 700	1 385.10^3
0.08	2.1	11 050	1 381.10^3	0.20	3.0	27 500	1 375.10^3
0.08	2.1	11 850	1 480.10^3	0.25	3.4 + 4	33 600	1 344.10^3
0.09	2.1	13 200	1 467.10^3	0.25	3.4 + 4	32 745	1 309.10^3
0.09	2.2	13 800	1 481.10^3	0.30	3.2 + 3	41 055	1 368.10^3
0.10	2.2	13 670	1 367.10^3	0.30	3.3 + 3	40 340	1 343.10^3
0.10	2.2	14 000	1 400.10^3	0.35	3.3 + 4	46 800	1 331.10^3
0.10	2.2	14 450	1 445.10^3	0.35	3.5 + 4	46 053	1 315.10^3
0.12	2.2	16 500	1 375.10^3	0.40	3.4 + 4	54 300	1 356.10^3
0.13	2.3	18 000	1 384.10^3	0.40	3.2 + 4	55 000	1 374.10^3
0.13	2.5	18 560	1 427.10^3	0.40	3.3 + 4	53 500	1 338.10^3
0.15	2.5	20 130	1 342.10^3	0.43	3.5 + 4	58 190	1 353.10^3
0.15	2.5	20 300	1 355.10^3	0.45	3.5 + 4	60 960	1 348.10^3
0.16	2.3	21 000	1 312.10^3	0.45	3.5 + 4	61 404	1 364.10_3
0.16	2.3	20 470	1 279.10^3	0.50	3.4 + 5	67 116	1 342.10^3
0.18	2.5	26 600	1 477.10^3	0.55	3.5 + 5	74 960	1 363.10^3
0.18	2.5	24 700	1 372.10^3				

Nous nous étions efforcés déjà d'obtenir un résultat satisfaisant en réunissant deux éprouvettes l'une à paroi mince, l'autre à paroi épaisse; sur la seconde se trouvait le bord de l'armature. Mais cette disposition n'a pas répondu à notre attente, car il se formait des fentes microscopiques, ayant l'aspect de stries, ainsi qu'on le constate toujours pour les tubes étirés ; au contraire, en amincissant les parois par soufflure, ces fentes étaient évitées et les résultats obtenus suivaient une loi plus uniforme. Les tables ci-dessous donnent les valeurs obtenues avec des tubes appareillés comme l'indiquent les fig. 6, 7 et 8. Les diélectriques employés étaient les mêmes que ceux dont nous nous sommes servi pour établir les tables I et IV, relatives à la perforation vers les bords de l'armature.

TABLE VI

ÉBONITE

$10\,\delta$	$10\,\delta^2$	v	$\frac{v}{\delta}$
0.10	1.80	7 864	786.10^2 (1)
0.20	1.95	18 207	910.10^2
0.20	1.94	18 564	923.10^2
0.25	2.00	24 990	999.10^2
0.25	2.10	25 022	1 000.10^2
0.30	2.20	33 915	1 130.10^2
0.30	2.60	32 986	1 099.10^2
0.30	2.50	32 160	1 071.10^2
0.35	3.10	36 414	1 040.10^2
0.35	3.50	37 128	1 060.10^2
0.41	3.65	44 625	1 088.10^2

(1) En travaillant les baguettes d'ébonite on ne pouvait éviter de détériorer leurs surfaces, ce qui diminue la chute de tension, surtout pour les tubes à paroi mince.

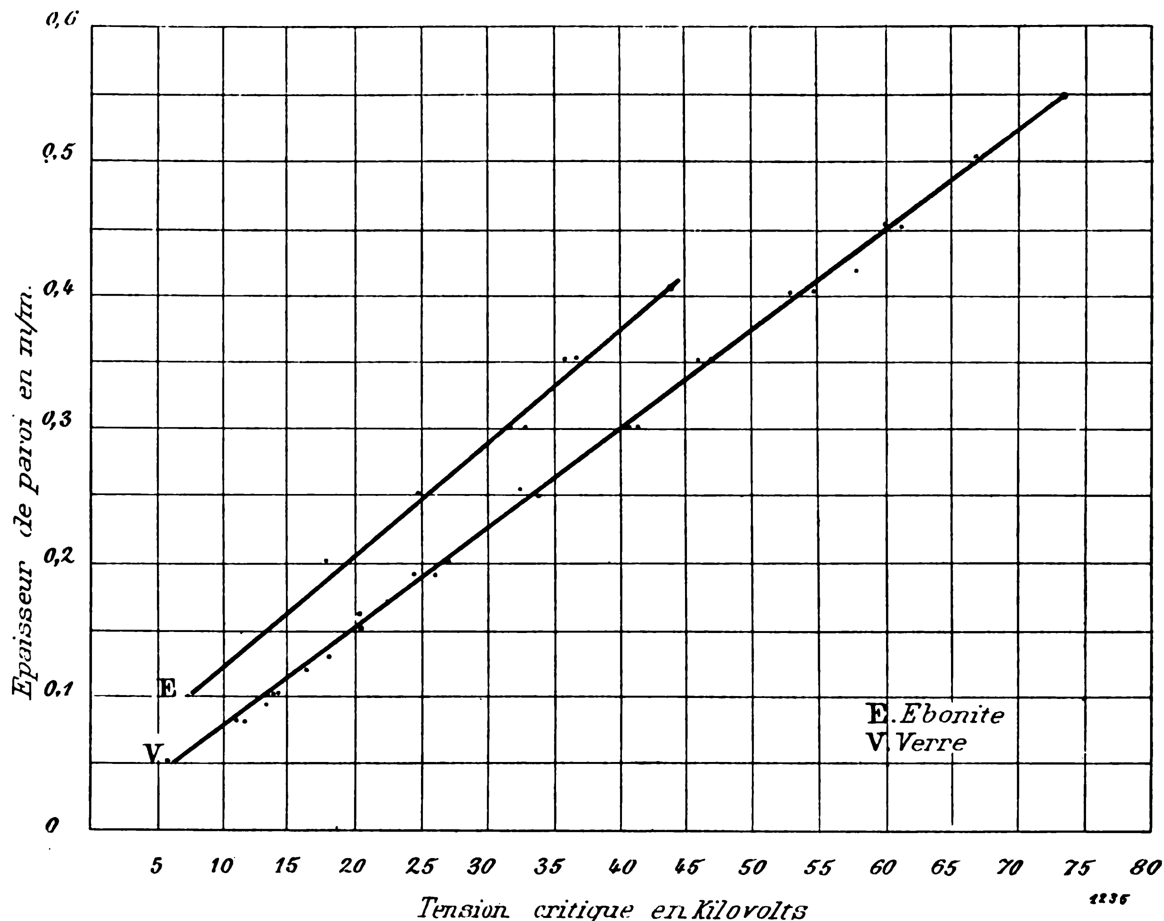


Fig. 9

Le diagramme de la fig. 9 est la représentation graphique des tables V et VI.

(*A suivre*). J. Moscicki.

Examen comparatif de l'économie de vapeur réalisée avec un moteur à double action perfectionné sur un turbo-moteur moderne.

La vogue très intense qui s'est attachée depuis quelque temps aux turbines à vapeur a naturellement suscité l'attention des constructeurs d'autres types de moteurs à vapeur et l'un d'eux, M. J. A. Seymour, dans un récent article publié dans *Electrical World and Engineer* s'élève contre l'espèce de déconsidération dans laquelle on semble vouloir plonger leur aîné, le moteur à double action et, tout en rappelant les qualités de ce dernier, il expose les résultats comparatifs qu'il a obtenus avec chacun des deux types de producteurs d'énergie mécanique. Nous en résumons les points les plus importants.

Il importe de faire remarquer tout d'abord que la comparaison, pour être équitable, doit porter sur des unités amenées chacune à leur dernier degré de perfectionnement actuel et non, par exemple, sur un turbo-moteur concentrant tous les progrès réalisés et un moteur à double action de construction déjà ancienne et en service depuis plusieurs années.

Comme constructeur, M. Seymour se réfère naturellement aux moteurs de sa fabrication, mais les essais qui ont servi de base à son argumentation représentent impartialement les résultats pouvant être obtenus avec les moteurs des meilleurs constructeurs.

Les unités qui ont servi de comparaison étaient, d'une part, un turbo-moteur Westinghouse-Parsons, construit par M. Mattice, dont le nom seul est le meilleur garant du bon fonctionnement du modèle employé, et, d'autre part, un moteur vertical intercompound, ayant un rapport

de cylindres de 4 à 1. Les observations faites au cours du fonctionnement des deux unités l'ont été avec une précision suffisante pour en tirer des déductions.

En premier lieu, M. Seymour fait justement remarquer qu'il faut tenir compte du rendement obtenu sous des charges légères ou variables, puisque les mesures prises pour les cas de surcharge contribuent à l'obtention, pour la charge normale, d'une moyenne inférieure à celle de la puissance maximum.

L'auteur ajoute que, quels que soient les avantages que la turbine à vapeur puisse prouver par la suite, au point de vue industriel, rien ne fait prévoir à l'heure actuelle que parmi ces avantages il y en ait un qui démontre que l'économie de vapeur pour des faibles charges est plus considérable que celle réalisée avec les moteurs à double action. Il est vrai que le taux ordinaire ou moyen de consommation de ces derniers pour des faibles charges est excessif en comparaison de l'économie réalisée lors de la pleine charge, mais il convient d'ajouter également que la moyenne des moteurs à double action, en usage actuellement, représente réellement un moteur rien moins que moderne et nullement économique. Le moteur idéal, avec cylindres revêtus d'un isolant calorifuge, ne donnant lieu à aucune perte de pression résultant de fuites, de la condensation dans les cylindres, ou de la radiation de ces derniers, doit, pour opérer économiquement, fonctionner avec double détente. Avec les types actuels, cette double fonction obligerait à leur donner une charge beaucoup moindre que celle convenant à leur fonctionnement économique. Il s'ensuit qu'un moteur moderne, ayant une moyenne de consommation très peu élevée sous pleine charge, se rapproche beaucoup plus du type idéal que celui qui représenterait la moyenne de ceux en service actuellement, et devrait, proportionnellement, permettre de réaliser une économie encore plus grande sous une faible charge, c'est-à-dire que la courbe devrait être beaucoup plus aplatie. L'exactitude de ce fait a été reconnue dans la pratique actuelle.

Les résultats de l'essai comparatif sont donnés par des courbes desquelles il ressort distinctement que le meilleur travail fourni par les turbines s'obtient à la pleine charge ou dans sa limite, les courbes s'écartant progressivement à mesure que la charge diminue. Les moteurs à double action atteignent, au contraire, leur maximum d'économie à 0,8 environ de la pleine charge et l'aplatissement de la courbe de chaque côté de ce point démontre que cette condition ne varie que très légèrement entre 0,7 et 0,9 de la pleine charge.

Au point de vue de la production d'énergie électrique, la consommation par cheval-heure en courant électrique a été, à 0,8 de la pleine charge, d'environ 5,662 kilogr. pour le moteur et d'environ 6,342 kilogr. pour la turbine. Sous pleine charge, la consommation s'est abaissée à 5,587 kilogr. environ pour le premier groupe et à 6,215 kilogr. environ pour le second. Toutes les précautions avaient été prises pour éviter toute perte soit par radiation, soit dans le réchauffeur. Les deux moteurs étaient alimentés avec de la vapeur surchauffée se détendant dans le vide. Ce dernier a été d'environ 25 pouces 1/6 pour le moteur et 27 pouces 1/2 pour la turbine.

Parlant des résultats obtenus pour la marche des deux différentes unités sous faible charge, et dont il y a lieu de tenir compte au moins en ce qui concerne les stations centrales, M. Seymour estime que les Directeurs de stations centrales mettront de l'hésitation à considérer qu'il serait pratique de faire fonctionner des turbo-moteurs sous leur charge la plus économique si ceux-ci n'ont pas une capacité de surcharge qu'ils doivent soutenir quand il s agit d'une station dont la charge varie fréquemment. Il arrive aussi très souvent qu'au moment de la pleine charge d'une station, la pression et le vide tombent subitement et que la diminution de la pression dans les conduites, etc., s'accentue tellement que le rendement maximum de l'unité sous de telles conditions ne permet pas d'atteindre, à beaucoup près, la capacité de surcharge nominale obtenue sous des conditions normales. Pour qu'une turbine se maintienne dans sa limite de rendement et de fonctionnement économique, il faut tenir constamment un vide très élevé ce qui, dans les moments de surcharge ou pendant la saison chaude et avec les appareils de condensation ordinaires, ne laissera pas d'être, dans la plupart des cas, un problème extrêmement ardu, et plus difficile à résoudre qu'on ne se l'imagine généralement.

Tout en admettant pleinement l'argumentation de M. Seymour tendant à démontrer la supériorité de rendement des meilleurs types de moteurs à double action comparé à celui des turbines perfectionnées, les résultats atteints à l'heure actuelle

avec ces derniers n'en sont pas moins encourageants si on considère qu'on approche du 150e anniversaire du premier brevet de Watt et que pendant ce laps de temps, le moteur à double action a été l'objet de la concentration des multiples efforts des ingénieurs les plus compétents du monde entier. De son côté, la turbine à vapeur pratique date de 25 ans ; les 10 dernières années surtout ont suffi à l'amener au point de perfectionnement qui lui permet de rivaliser avantageusement avec les moteurs à double action les plus parfaits.

Les ingénieurs poursuivront leurs recherches pour améliorer encore le rendement de chacun des moteurs rivaux, mais on remarquera toutefois que l'économie réalisée sur la consommation de vapeur n'est qu'un des facteurs d'épargne d'une station génératrice. Le critérium à atteindre n'est pas précisément l'économie de vapeur mais celle d'argent, et les éléments qui concourent à l'obtention de ce résultat final sont très nombreux. Donc, si les turbines consomment un peu plus de vapeur que les autres moteurs, elles permettent, d'autre part, de réaliser une économie dans le coût de première installation, dans les fondations, l'espace occupé, etc., car c'est au prix de revient final de l'énergie produite qu'il convient de se reporter pour établir des comparaisons utiles à ce point de vue.

L. D.

TÉLÉGRAPHIE

Comparaison entre le système transmetteur à excitation directe et le système transmetteur excité par induction en télégraphie sans fil. — **Seibt.** — Physikalische Zeitschrift, 1er août.

§ 1. — Méthode pour le calcul des oscillations propres.

Nous avons déjà montré de quelle manière on peut calculer, avec l'aide des mathématiques très élémentaires, la fréquence propre de systèmes composés. La méthode était la suivante :

Si l'on néglige l'amortissement des oscillations, ce qui est permis en première approximation, on peut supposer pour les tensions et les courants des variations sinusoïdales et employer la méthode symbolique très répandue dans la technique des courants alternatifs. Cette méthode offre l'avantage que les équations sont semblables à celles des courants continus : on a toujours autant d'équations qu'il en faut pour déterminer à un point donné les tensions et les courants. En éliminant leurs valeurs, on obtient l'équation donnant les oscillations propres du système. On trouve comme expression une équation transcendante, si la capacité et la self-induction sont considérées comme réparties. Les difficultés que présente la discussion de l'équation peuvent être éludées de deux manières. Ou bien on obtient ses racines par la méthode graphique, ou bien on se borne à envisager l'onde fondamentale et l'on

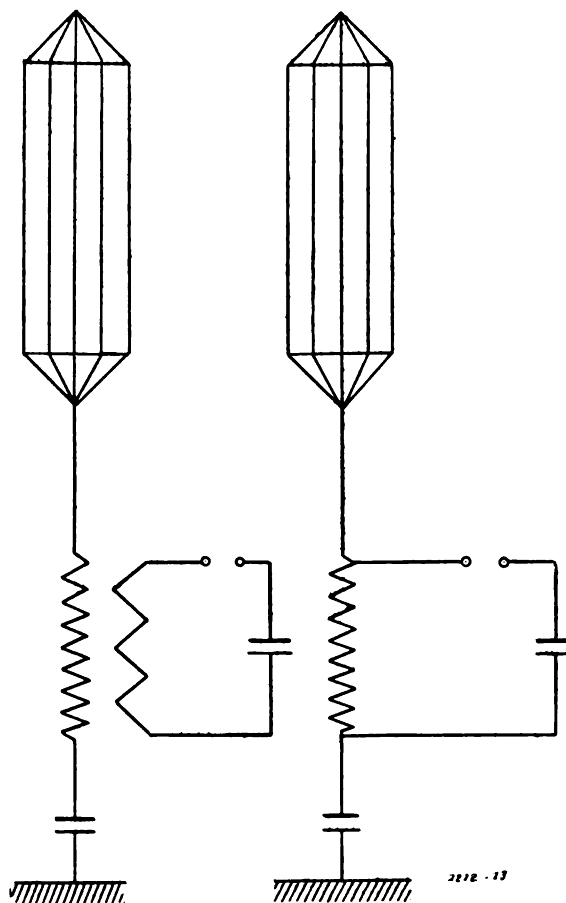


Fig. 1

suppose la capacité et la self-induction concentrées. Nous avons employé la première méthode pour traiter le cas du transmetteur à accouplement direct, et la seconde pour le cas du transmetteur à accouplement par induction. Pour mettre en parallèle les deux modes d'accouplement, nous emploierons la seconde méthode qui est plus simple au point de vue mathématique et correspond plus aux conditions pratiques que la

première. Car, dans la plupart des formes d'exécution (antenne en forme de cage, d'éventail, de cône ou de zigzag) la plus grande partie de la capacité se trouve à l'extrémité de l'antenne. Dans les cas particuliers où un mince câble est soutenu en l'air par un ballon ou un cerf-volant, la capacité est répartie d'une façon à peu près uniforme mais est un peu plus grande au voisinage de la terre.

La méthode indiquée pour le calcul des fréquences n'est plus exacte lorsque, dans un système composé, deux éléments ont entre eux un accouplement lâche ou imparfait et qu'ils sont en résonance. La répartition du courant dépend alors essentiellement de l'amortissement. Mais heureusement dans ce cas la déformation des oscillations primitives est d'autant plus faible que la méthode est moins exacte. On peut alors se baser sur la fréquence du système non accouplé. Il serait dangereux dans ces conditions de négliger l'amortissement dans le calcul des amplitudes.

§ 2. — Fréquence des oscillations.

a) *Du transmetteur à accouplement par induction.*

Avec les notations habituelles on a les équations suivantes :

$$\left.\begin{array}{r} E_1 + i\omega L_1 I_1 + i\omega M I_2 = 0 \\ E_2 + i\omega L_2 I_2 + i\omega M I_1 = 0 \\ I_1 = i\omega C_1 E_1 \\ I_2 = i\omega C_2 E_2 \end{array}\right\} \qquad (1)$$

d'où l'on tire :

$$\omega^4 - \omega^2 \frac{C_1L_1 + C_2L_2}{C_1C_2(L_1L_2 - M^2)} + \frac{1}{C_1C_2(L_1L_2 - M^2)} = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{2C_1C_2(L_1L_2 - M^2)}[C_2L_1 + C_1L_2] \mp \sqrt{\mp \sqrt{C_1L_1 - C_2L_2)^2 + 4C_1C_2M^2}}} \qquad (2)$$

Au cas de la résonance, $C_1L_1 = C_2L_2 = CL$ et, en posant $M^2 = x^2L_1L_2$, il vient

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL}\frac{1+x}{1-x^2}} \qquad (3)$$

ou pour la longueur d'onde :

$$\lambda = 2\pi v\sqrt{CL\frac{1-x^2}{1+x}} \qquad (4)$$

En désignant par λ_0 la longueur d'onde du circuit non accouplé, l'onde maxima est

$$(5) \qquad \lambda_1 = \lambda_0\sqrt{1+x}$$

et l'onde minima

$$(6) \qquad \lambda_2 = \lambda_0\sqrt{1-x}$$

La différence entre l'oscillation la plus rapide et l'oscillation primitive est donc un peu plus grande que la différence entre l'oscillation la plus lente et l'oscillation primitive. L'écart entre les deux disparaît lorsque l'accouplement diminue.

Les 3 ondes sont liées par la relation simple :

$$\lambda_0^2 = \frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{2} \qquad (7)$$

La moyenne arithmétique des carrés des longueurs d'onde déformées est égale au carré de la longueur d'onde existant avant l'accouplement.

Les formules 5 et 6 donnent une méthode pour déterminer expérimentalement les facteurs d'accouplement.

Si les 3 ondes d'un transmetteur ont été mesurées, on peut tirer x^2 d'une des équations :

$$\left.\begin{array}{l} x^2 = \left(\frac{\lambda_1^2}{\lambda_0^2} - 1\right)^2 \\ x^2 = \left(1 - \frac{\lambda_2^2}{\lambda_0^2}\right)^2 \\ x^2 = \frac{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}{\lambda_1^2 + \lambda_2^2} \end{array}\right\} \qquad (8)$$

Nous recommandons l'application de cette méthode dans la pratique, aussi bien pour le transmetteur que pour le récepteur, et quel que soit l'accouplement. Le récepteur donne les meilleurs résultats quand son accouplement est le même que celui du transmetteur (1).

Il y a là une grosse difficulté pratique : 1° L'accord des circuits au point de vue de la longueur d'onde et du degré d'accouplement nécessite toute l'habileté d'un ingénieur connaissant à fond les phénomènes des oscillations ; 2° Le meilleur moyen de se mettre à l'abri des perturbations causées par les autres consiste encore à l'heure actuelle à adopter l'accouplement lâche entre le transmetteur et le récepteur (M. Wien). Mais on

(1) La capacité de ce dernier doit être considérée comme étant en série avec la capacité du fil aérien. Les deux ensemble réalisent la capacité que nous appelons C_2. Le meilleur accord du secondaire sur lui-même est atteint lorsque la période d'oscillation de l'antenne est égale à celle de la bobine secondaire et du condensateur de terre. Le nœud de tension est alors à l'extrémité supérieure de la bobine.

diminue ainsi la portée. Si, pour assurer l'action à distance et la sécurité des communications, on emploie d'abord l'accouplement rigide puis l'accouplement lâche, les modifications doivent être faites en même temps aux deux stations et être les mêmes. On peut trouver des moyens pour diminuer ces difficultés.

Le degré d'accouplement d'un transmetteur excité par induction peut être modifié de 3 façons différentes : en premier lieu, on peut déplacer les bobines l'une par rapport à l'autre; en second lieu, on peut faire varier l'antenne par rapport à la self-induction et à la capacité ; en 3e lieu, on peut agir de même sur le condensateur de terre et la bobine secondaire (1). Une faible self-induction et une forte capacité dans l'antenne d'une part, avec une forte self-induction et une faible capacité dans le circuit excitateur et la partie inférieure du système secondaire, d'autre part, conduisent à un accouplement rigide.

Le facteur d'accouplement K^2 peut être obtenu comme fonction du rapport des capacités ou des self-inductions.

Divisons dans ce but en deux parties la self-induction de la bobine secondaire en deux parties dont la 1re l''_2 correspond à une bobine accouplée d'une façon idéalement rigide, et la 2e l'''_2 correspond à une bobine placée tout à fait en dehors du champ de la bobine primaire. Le coefficient d'induction mutuelle est alors :

$$M^2 = L_1 L'_2 = x^2 L_1 L_2$$

et le facteur d'accouplement :

$$x^2 = \frac{L'_2}{L_2} \cdot$$

La partie accouplée de la self-induction secondaire est dans un rapport fixe avec la self-induction primaire.

Soit :

$$a = \frac{L'_2}{L_1} \qquad (9)$$

ce rapport, assez exactement le même que celui des carrés des nombres de tours des selfs inductions qui doivent être considérées comme tout à fait rigidement accouplées.

On a donc :

$$x^2 = a \frac{L_1}{L_2} \qquad (10)$$

ou

$$x^2 = a \frac{C_2}{C_1} \qquad (11)$$

b) Du transmetteur directement accouplée. (fig. 2).

Désignons les intensités de courant dans la bobine primaire par I_{1L}, dans le condensateur par I_{1C}, dans l'antenne par I_2. Soit L'_2 la self-induction de cette dernière.

Nous avons les relations suivantes :

$$\left.\begin{aligned} E &= i\omega L_1 I_{1L} \\ E &= -iI_{1C}\frac{1}{\omega C_1} \\ E &= iI_2\left(\omega L'_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right) \\ I_{1L} &+ I_{1C} + I_2 = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

On en tire :

$$\omega^4 - \omega^2 \frac{C_2 L'_2 + C_2 L_1 + C_1 L_1}{C_1 C_2 L_1 L'_2} + \frac{1}{C_1 C_2 L_1 L'_2} = 0$$

Ici donc aussi nous trouvons les deux oscillations, dont nous avons déjà parlé en 1901. Le dispositif d'expérience était celui de la fig. 3 qui représente une image du transmetteur. La bouteille I correspond à la capacité de l'excitateur et la bouteille II à la capacité. Les tensions furent mesurées aux bornes de la bouteille III du résonateur. L'analyse des oscillations avec le miroir tournant donna le même résultat.

Supposons que les deux circuits soient en état de résonance : à notre connaissance, cet état n'a encore jamais été rigoureusement défini pour l'excitation directe. D'après ce qui est admis d'habitude, la résonance existe lorsque la longueur du fil aérien est égale au quart de la longueur d'onde du circuit primaire librement oscillant, c'est-à-dire pour :

$$l = \frac{\lambda_0}{4} \quad \text{ou pour :} \quad C_2 L'_2 = C_1 L_1$$

Il y a là, à notre avis, une exactitude. L'arc de fermeture du circuit des bouteilles n'appartient pas seulement au système primaire mais aussi au système secondaire.

Nous poserons donc :

$$C_1 L_1 = C_2(L'_2 + L_1) = CL$$

L'équation 13 devient alors :

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{C_2 L'_2}\left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \frac{L_1}{L'_2}}}\right)}$$

ou avec :

$$\frac{1}{C_2 L'_2} = \frac{1}{CL}\left(1 + \frac{L_1}{L'_2}\right)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL}\left(1+\frac{1}{L'_2}\right)\left(1 \mp \sqrt{1-\frac{1}{1+\frac{L_1}{L'_2}}}\right)} \quad (14)$$

Posons :

$$1+\frac{L_1}{L'_2}=\frac{1}{1-\rho^2};$$

il vient :

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL}\cdot\frac{1\mp\rho}{1-\rho^2}}, \quad (15)$$

où

$$\rho^2 = \frac{L_1}{L_1+L'_2}$$

comme $L_1 + L'_2 = L\,2$, self-induction secondaire totale :

$$\rho^2 = \frac{L_1}{L_2}$$

ou encore :

$$\rho^2 = \frac{C_2}{C_1}.$$

§ 3. — Comparaison des deux systèmes

On voit que les équations 3 et 15 donnant les périodes d'oscillation des deux systèmes sont de la même forme. Au lieu de 5 de l'équation 15, on a x dans l'équation 3. Toutes les conclusions que l'on peut tirer dans le § 2 sur l'accouplement par induction sont aussi applicables à l'accouplement direct.

x est égal à ρ lorsque $a = l$ c'est-à-dire lorsque, avec l'excitation par induction, la partie rigidement accouplée de la self-induction secondaire est égale à la self-induction primaire. Le passage d'un montage à l'autre peut être effectué en enroulant les bobines primaire et secondaire sur le même noyau. Puis, comme les deux bobines sont traversées par le même flux, il est permis de supprimer l'isolement qui sépare les fils et de réunir les deux bobines en une seule, sans qu'il en résulte aucune modification dans la répartition du courant et de la tension.

Le transmetteur à accouplement direct est ainsi ramené à un cas spécial du transmetteur à accouplement par induction.

Théoriquement, l'excitation par induction est supérieure à l'excitation directe. En effet, pour un même nombre de tours au primaire, on peut obtenir avec elle des degrés d'accouplement plus élevés et utiliser plus complètement l'énergie emmagasinée dans les bouteilles. Mais ce système offre l'inconvénient pratique que l'accord est plus difficile à effectuer. On évite généralement de faire varier la capacité du circuit excitateur. Alors que, avec l'accouplement direct, on peut modifier la self-induction aussi graduellement que l'on veut au moyen d'un curseur, on est forcé, avec l'accouplement par induction, de couper des tronçons de fil. Car si l'on introduit un curseur de réglage de la self-induction, le fil d'amenée du courant et l'écartement nécessaire entre les fils de l'appareil occasionnent une dispersion considérable qui fait perdre les avantages de l'accouplement rigide.

Au point de vue du constructeur et de l'exploitant, il y a encore un grand nombre de particularités pour et contre chaque système. Dans les stations où le montage n'est pas modifié en cours de fonctionnement, c'est à notre avis l'excitation par induction qui doit être préférée. R. V.

Télégraphie sans fil. — Nouveau récepteur de télégraphie sans fil. — **Peter.** — Electrical Vorld et Engineer.

Avec le montage habituel du cohéreur, le circuit local qui doit être fermé par cet appareil

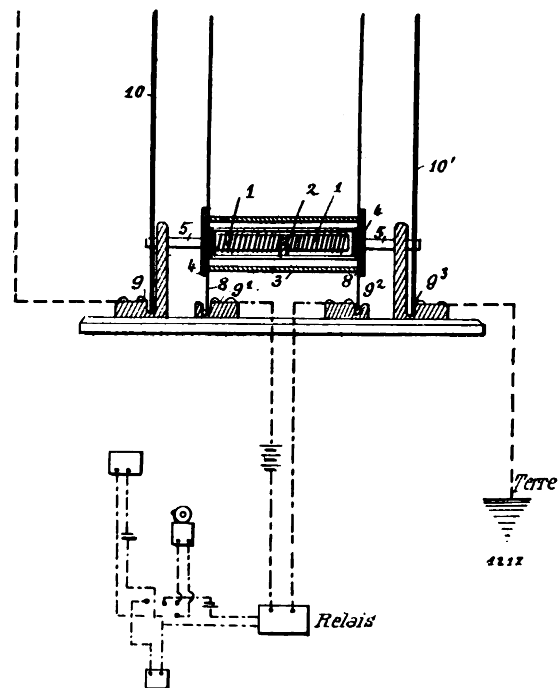


Fig. 1

est branché aux deux extrémités ; il en résulte que le chemin de l'onde reçue par l'antenne et celui du courant local sont confondus en un seul

et qu'une grande partie de l'énergie de l'onde passe par le circuit local dont la résistance est faible par rapport à celle du cohéreur.

Dans le récepteur Peter, les deux chemins sont distincts. Cet appareil est représenté par les fig. 1, 2 et 3. Il contient, dans le tube de verre 3, fermé par deux plateaux isolants 4, deux électro-aimants 1, 1 entre lesquels est ménagé l'espace destiné à la limaille métallique. Les noyaux de ces électro-aimants sont des fils de fer doux placés autour de la tige 5 et maintenus par des bagues 6 en fer doux isolées des bagues 7 également en fer doux. A ces dernières sont connectées les extrémités des enroulements

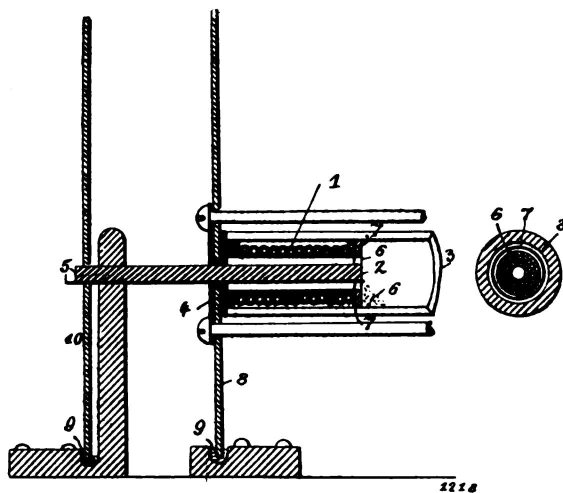


Fig. 2 et 3

magnétisants dont les autres extrémités sont reliées aux disques 8 et 8^1. Les cavités 9, 9^1, 9^2 et 9^3 sont remplies de mercure. Le récepteur est mû par un petit moteur électrique et les disques 8, 8′, 10, 10′ sont en contact permanent avec le mercure : le noyau de l'électro-aimant de gauche est ainsi toujours relié à l'antenne et l'autre noyau avec la terre. Les enroulements des électro-aimants sont en série avec le circuit local, grâce aux disques 8 et 8′.

Un commutateur permet de mettre en circuit la sonnerie ou le frappeur : le moteur entre en action en même temps que ce dernier. La limaille doit remplir à peu près un tiers de l'espace libre entre les électro-aimants et est entraînée par la rotation du tube. La limaille qui se trouve dans l'axe de ce dernier est prête à chaque instant à former un pont vers la terre pour les ondes reçues par l'antenne en reliant ensemble les noyaux des deux électro-aimants. En même temps les autres particules métalliques sont cohérées et conduisent par les bagues 7 le courant local qui parachève la connexion, en aimantant les noyaux de fer et la limaille placée entre les bagues 7. Comme limaille, on emploie de la limaille de fer ordinaire, mélangée de 40 % de limaille de laiton.

R. V.

DIVERS

Commutateur coupe-circuit automatique de la General Electric Co New-York. — A. E. Carolan The Illustrated Officinal Journal (Patents) 13 juillet 1904

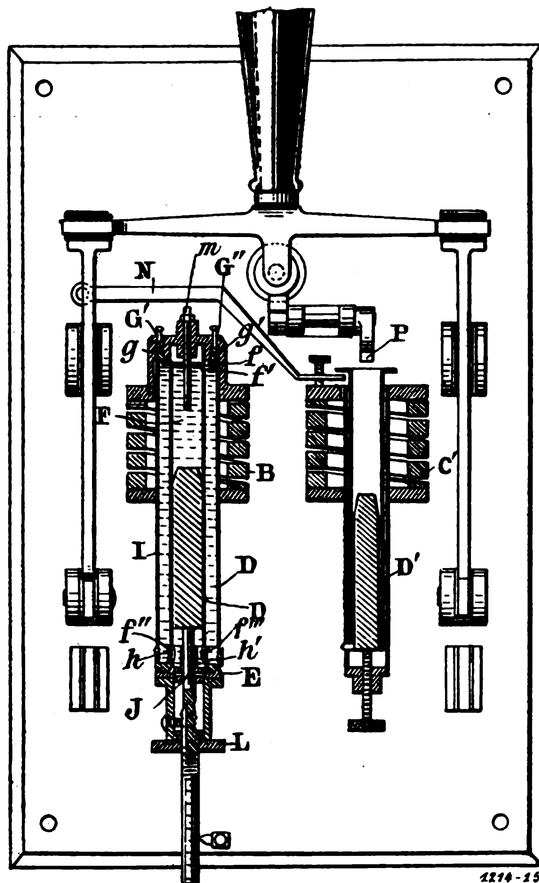
Le dispositif magnétique dont ce commutateur est pourvu lui permet de soutenir une surcharge pendant une période déterminée et provoque son ouverture dès que cette surcharge devient excessive.

Dans le solénoïde de gauche D, fig. 1, le noyau I est mobile dans l'intérieur d'un tube à double paroi D contenant de la glycérine. La circulation de ce liquide s'établit, lorsque I se déplace par des ouvertures du tube intérieur ménagées en f, f', en haut, et en f'', f''', à la base. Une bague striée H (fig. 2) permet de régler à volonté la position des orifices h, h' du tube extérieur avec f'', f'''. Les deux tubes sont fixés à la base sur un support E qui traverse une tige J mue extérieurement par la molette L pour déterminer la position initiale du noyau I suivant les indications de la graduation Q′ de J, et coiffés à la partie supérieure d'un chapeau muni d'une garniture étanche g, g', logée dans une gorge circulaire, et que des vis G′ G″ font appuyer sur les bords du tube extérieur pour éviter que la glycérine n'absorbe de l'humidité.

L'appareil étant réglé, quand une surcharge survient, le noyau I monte graduellement en refoulant la glycérine jusqu'à venir repousser une tige m, engagée à frottement doux dans la partie supérieure du chapeau, et qui, si le courant devient dangereux, soulève un levier N afin d'amener le noyau O′ dans la zone d'action de son solénoïde. Celui-ci, en l'attirant violemment, le fait heurter la tige d'un verrou P dont le déclanchement libère aussitôt le commutateur et en provoque l'ouverture.

La position initiale du noyau du second solénoïde est également réglée à l'aide d'une tige filetée et on peut, à l'aide d'une vis, l'astreindre

à ne fonctionner uniquement que par le jeu du premier solénoïde, ou bien avec ce dernier et indépendamment. Dans ce dernier cas, on règle



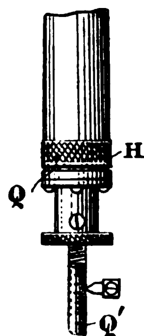


Fig. 1 et 2

sa position initiale pour qu'il puisse agir immédiatement dans le cas d'une surcharge soudaine comme un court-circuit, par exemple, et débloquer le commutateur avant que l'autre solénoïde n'ait eu le temps d'arriver pour le faire mettre en jeu.

Dans une modification de ce dispositif, le solénoïde B' est placé immédiatement sous celui C', ce qui permet de supprimer le levier N, la tige *m* agissant directement sur le noyau O' dont elle remplace la vis de réglage à sa partie inférieure.

L. D.

Sur la transmission de la vapeur surchauffée, par le Dr O. Berner. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingénieure.*

Les résultats des recherches et des expériences auxquelles M. le Dr O. Berner s'est livré sur la transmission de la vapeur surchauffée démontrent que si, dans une canalisation de vapeur saturée, la perte de transmission peut être évaluée à l'aide de l'abaissement de la pression, il ne saurait en être de même quand il s'agit de vapeur surchauffée. Puisque c'est à sa température que sont dûs les avantages qu'on tire de l'emploi de cette dernière, c'est dans l'abaissement de cette température qu'il faut rechercher la meilleure méthode pour déterminer les pertes dans sa transmission.

L'auteur examine les deux sortes de pertes calorifiques : celles occasionnées par la transmission et celles dues à la radiation. Il s'appuie, pour ses recherches expérimentales, sur une formule générale basée sur les travaux de Péclet, et à laquelle il applique les résultats déjà obtenus notamment par Joule, Pasquay, Dulong et Petit, Stott, et Bolam et Grieve. Dans ses recherches pour déterminer la transmission de la chaleur à travers les parois d'un tuyau, Stott n'employa pas la vapeur du tout ; l'intérieur de ce tuyau était chauffé à l'aide d'un courant électrique et sa température externe était calculée d'après les variations constatées dans la résistance d'un conducteur enroulé à l'extérieur. Les résultats obtenus ont fait constater que la conductivité de la chaleur était presque directement proportionnelle à la différence de température entre le tuyau et l'air extérieur. Divers essais d'enveloppes isolantes ont permis de réduire les pertes de calorique dans des limites variant de 78 à 89 pour 100 de la perte totale. Les expériences de Bolam et Grieve donnent des résultats analogues et font de plus ressortir l'utilité qu'il y a, en raison des températures élevées de la surchauffe, de ne pas négliger de relever la température à l'extérieur de l'enveloppe isolante puisque c'est là l'indication d'une cause de perte

de chaleur. La précision exigée par une semblable opération nécessite l'emploi, non du thermomètre ordinaire, mais d'éléments thermo-électriques.

Au lieu de déterminer la conductivité des isolants comme on le fait généralement, c'est-à-dire d'après la perte de chaleur dans une conduite de vapeur, M. Berner estime qu'il serait préférable de soumettre les substances destinées à servir d'enveloppes isolantes à des essais de laboratoires. Des expériences faites dans cette voie par M. Pasquay, l'ont amené à considérer le feutre et la soie comme des meilleurs isolants et qui, employés avec une épaisseur suffisante, ont permis de réduire de 80 à 85 pour 100 les pertes dans un tuyau à nu. Pour parer aux inconvénients dûs à la chaleur très intense dégagée par la vapeur surchauffée et qui ont pour effet d'amener la destruction rapide de toute matière organique, ce dernier propose l'interposition, entre le tuyau et l'isolant, d'une couche assez épaisse d'une substance minérale plastique pour soustraire ce dernier à l'action directe de la chaleur.

L'air serait également un très bon isolant, à la condition, toutefois, qu'il soit absolument fixe. Autrement, son déplacement entraînerait des pertes par convection. Avec une couche d'air de 1 centimètre d'épaisseur, Russner a obtenu une réduction de 75 à 85 pour 100 sur la perte d'un tuyau à nu. On déduit de ces expériences que les propriétés isolantes des enveloppes dépendent de la quantité plus ou moins grande d'air emprisonné dans les interstices ou dans la masse de la substance qui les composent.

Les divers éléments qui entrent dans le calcul des pertes de calorique dans les conduites de transmission de vapeur surchauffée et qui doivent faire l'objet de mesures rigoureuses sont, d'après M. Berner, le poids de la vapeur traversant la conduite par heure ; le poids, par heure, de l'eau de condensation ; la pression et la température de la vapeur à chaque extrémité : entrée et sortie du tuyau. De ces données, on peut déjà déduire d'autres relations importantes telles que la vitesse de la vapeur et la perte, par heure, de chaleur en unités thermiques par unités de surface de la conduite et, en général, la perte d'énergie résultant de la transmission. Les recherches faites à l'aide de ces éléments l'ont amené aux résultats qu'il donne sous forme de tableaux et desquels il ressort que si on fait passer de la vapeur surchauffée dans une canalisation faite pour transmettre de la vapeur saturée, la perte de transmission est largement deux fois plus grande qu'avec cette dernière.

Le seul remède applicable actuellement à cet état de choses consiste dans un meilleur choix des enveloppes isolantes et aussi dans la réduction de la longueur des conduites à leur strict minimum.

M. Berner conclut en faisant remarquer que les pertes de transmission peuvent influer grandement sur les résultats d'essais comparatifs d'un moteur à vapeur saturée avec un moteur à vapeur surchauffée et propose, afin d'avoir une appréciation exacte sur le rendement utile d'un moteur, de relever avec soin les pertes subies par la vapeur dans son trajet des chaudières au moteur. Il exprime le désir de voir les ingénieurs s'attacher à la question de la transmission de la vapeur surchauffée avec autant d'ardeur qu'à celles de la génération et de l'utilisation qui ont été l'objet de leur unique préoccupation jusqu'alors. L. D.

Sur les causes d'incendies dans les stations centrales.

Parlant des récents sinistres qui, cette année, ont causé un préjudice de plus d'un milliard à l'industrie électrique aux Etats-Unis et au Canada, M. Howard S. Knowlton consacre, dans l'*Engineering Magazine*, juin 1904, un long article aux moyens préventifs à employer pour diminuer les risques d'incendie.

Le problème comporte deux questions : les moyens préventifs et les moyens combatifs. Les premiers peuvent se résumer comme il suit :

Absence aussi complète que possible du bois dans la construction de stations centrales, le fer et la maçonnerie devant être employés de préférence, sauf, toutefois, là où les ressources de la contrée obligent à utiliser le bois. Dans ce dernier cas, il faut rechercher l'isolement et éviter l'adjonction d'autres corps de bâtiments formant agglomération.

A défaut de volets métalliques, l'auteur préconise l'emploi, pour les fenêtres de l'usine, de châssis en fer munis de vitres en verre armé avec, à l'intérieur, un rideau d'amiante qui, déroulé, masquerait hermétiquement l'embrasure. Bien qu'il ne soit pas aussi transparent que le verre ordinaire, le verre armé a l'avantage de rester en place où il est maintenu par son armature alors que le premier se détache entiè-

rement sous l'action du feu et laisse, par les baies, les fenêtres, les portes, etc., autant d'ouvertures par où l'air pénètre pour activer le foyer.

Les causes d'incendie ayant pour origine le fonctionnement même d'une station centrale sont assez nombreuses et difficiles à examiner séparément en tenant compte du plus ou moins de relation existant entre elles ; l'auteur les groupe dans l'ordre suivant :

Accumulation de matières combustibles telles que chiffons, papier, rebuts, copeaux, déchets graisseux et ordures ;

Combustion spontanée de sciure humide, chiffons, copeaux, suie, charbon et bois vermoulu ;

Explosion de gazoline, alcool, kérosine, vapeurs de pétrole, gaz d'éclairage ; inflammation d'huile, coulage des réservoirs, bidons, tuyaux, lampes ;

Incendie volontaire ;

Explosion de chaudières, éclatement de conduites de vapeurs, défections dans la construction des cheminées et carneaux ; manutention des cendres ;

Chauffage excessif de lampes à souder ; emploi de supports défectueux ou combustibles pour les radiateurs électriques ou à gaz ; combustion des matériaux hors d'usage ; joints d'appareils à gaz articulés ; moyens employés pour le dégel des conduites d'eau ; absence de tôles protectrices dans le voisinage de calorifères, conduite de vapeur, etc.

Absence de précaution dans l'emploi d'allumettes et dépôt de la provision dans un endroit d'une sécurité douteuse ; rats de cave et allumettes ; jet de cigarettes allumées, de cendres de cigare et de pipe dans les crachoirs remplis de sciure, corbeilles à papiers, etc. ; emploi de bougies ;

Frottement dans les courroies de transmission, échauffement de paliers, de conduites ; chauffage excessif de calorifères ; surcharge exagérée de dynamos, moteurs, transformateurs, canalisations électriques et organes du tableau de distribution ;

Ignition ou explosion de produits chimiques dans les ateliers ; chute de goudron des marmites en ébullition ; mélange de l'eau à l'acide sulfurique dans les salles d'accumulateurs ; contact de l'eau avec de la chaux vive ;

La foudre ;

Défections dans les canalisations électriques et dans leurs supports ; contact des lampes à incandescençe avec des matières inflammables ; pertes à la terre ; courts-circuits, surcharges ; étincelles de lampes à arc et de commutateurs.

Croisement des conducteurs à haute tension.

On peut conclure de cette énumération que la majorité des causes de sinistre relève d'une mauvaise organisation et les risques occasionnés peuvent facilement être évités grâce à une surveillance active et de fréquentes et minutieuses inspections de toutes choses pouvant les faire naître ainsi que des appareils destinés à combattre l'incendie si, malgré toutes précautions, il se déclare.

Comme moyens combatifs, M. Knowlton estime qu'une station doit être largement pourvue de prises d'eau pouvant être utilisées dans n'importe quelle partie de l'usine, y compris la toiture ; le matériel accessoire : tuyaux, lances, seaux, etc. devrait être exclusivement réservé à l'usage auquel il est destiné. Mais dans le cas d'un incendie purement électrique, il y a lieu de s'abstenir de faire usage de l'eau et d'employer de préférence le sable, extincteurs chimiques ou autres produits ou matériaux.

Il signale également un inconvénient donnant lieu à de très graves conséquences quand un incendie éclate dans une station et qui consiste en l'absence subite de la lumière, car rien n'est tel que l'obscurité pour jeter la panique et le complet désarroi dans le personnel en présence d'un danger dont il ne peut mesurer l'importance. Aussi, il serait de bonne précaution d'avoir toujours dans les stations un éclairage accessoire tel que le gaz ou mieux encore le pétrole ou des bougies.

L'auteur passe en revue toutes les dispositions à prendre pour isoler et empêcher le feu de se propager quel que soit l'endroit où il prenne naissance et émet l'avis que, dans chaque station, l'entretien et la surveillance de tout le matériel destiné à combattre l'incendie devraient être mis à charge d'un employé lequel aurait à fournir, au moins chaque semaine, un rapport détaillé de l'état et du fonctionnement de tous les appareils. L. D.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Sur la déperdition de l'électricité dans l'air, observée au sommet de la tour Eiffel, pendant l'orage du 4 août. Note de M. **A.-B. Chauveau,** présentée par M. Mascart.

« Une observation que j'ai pu faire sur la déperdition électrique, pendant l'orage du 4 août, bien qu'elle soit incomplète, confirme d'une façon remarquable le résultat signalé dans une Note précédente sur l'orage du 24 juillet (1).

» Après une journée très chaude, mais très belle, et de ciel très pur, sans aucun autre indice précurseur que l'apparition de quelques nuages, vers 6^h, du côté du soleil, l'orage, que rien n'indiquait encore à 6^h30^m, se dessinait nettement dans l'ouest vers $6^h 45^m$, et, se déplaçant avec une rapidité extraordinaire, arrivait sur la tour Eiffel 5 ou 6 minutes après, dans une trombe d'eau et de vent.

» L'obscurité brusquement survenue ne m'a pas permis de faire des mesures, mais j'ai pu constater aisément, à quelques minutes d'intervalle, d'une part *une déperdition extrêmement rapide de l'électricité positive,* de l'autre *une déperdition négative à peu près normale et très faible par rapport à la première.*

» La déperdition positive était telle, que les feuilles de l'électromètre se rapprochaient à vue d'œil, comme sous l'influence d'une flamme ou d'une substance fortement radio-active, et j'aurais pu croire à une fuite de l'instrument si la déperdition négative, essayée aussitôt après, ne s'était présentée avec les caractères habituels.

» Pendant l'après-midi et sans interruption de $2^h 30^m$ à $6^h 30^m$, des mesures de déperdition avaient été faites et ne présentaient rien d'anormal. Les résultats en étaient conformes à ceux que j'avais déjà eu l'occasion de constater par très beau temps, la déperdition négative restant constamment plus rapide que la positive. Le rapport de ces deux déperditions allait même en augmentant de façon nette et, de la valeur 3,3 vers 3^h, passait à 4,9 vers $5^h 30^m$. Le coup de vent d'orage renversait brusquement ce rapport et dans une proportion certainement beaucoup plus forte.

» En tenant compte de la pluie violente pendant nos deux observations du 24 juillet et 4 août, l'hypothèse qui paraît la plus vraisemblable pour expliquer ces charges négatives considérables entraînées par l'air est de voir là un fait analogue au phénomène bien connu qui se produit dans le voisinage des chutes d'eau. »

(1) *Comptes rendus* du 25 juillet, p. 277.

CONGRÈS DE VIENNE

Freins pour tramways électriques par M. **Ph. Scholtes,** Directeur des Tramways de Nuremberg-Fürth.

Outre les freins à main employés sur toutes les voitures de tramways, les freins communément employés sont les freins agissant électriquement (freins à court-circuit, freins à renversement de courant, freins électro-magnétiques) et les freins à air comprimé.

En prenant comme point de départ ces deux subdivisions, on peut diviser les exploitations de tramways en plusieurs groupes.

Groupe *a*). — Exploitations qui, pour le freinage de service, utilisent le frein à main et qui n'utilisent le frein à court-circuit qu'exceptionnellement et dans le cas de danger seulement.

Groupe *b*). — Exploitations qui, en règle générale, utilisent simultanément le frein électrique et le frein à main.

Groupe *c*). — Exploitations qui, en service, utilisent le frein à air, mais dont les voitures possèdent, en outre, un frein à main et un frein à court-circuit.

L'auteur résume quelques-unes des réponses données par les compagnies. — *Chemins de fer vicinaux d'Aix-la-Chapelle.* — Par suite de la présence de rampes assez fortes, les voitures ont été équipées de deux freins à chaîne complètement indépendants l'un de l'autre et comportant chacun quatre sabots; le freinage s'opère pour l'un à l'intérieur des roues; pour l'autre à l'extérieur. Le frein à chaîne extérieur est employé comme frein de service ; le frein à court-circuit comme frein de secours. La Compagnie ajoute qu'à son avis rien n'empêche

d'employer le frein à court-circuit comme frein de service pour autant que les moteurs de la voiture aient été construits spécialement pour utiliser en service le freinage à court-circuit.

Les *tramways municipaux de Cologne* ont procédé à des essais comparatifs très intéressants dont il a été fait spécialement mention dans le rapport de M. Poetz à l'Assemblée de Londres. Ces essais ont fait reconnaître qu'un frein à main peut être regardé comme suffisant, lorsqu'il s'agit de freiner des voitures isolées d'un poids de 8 à 9 tonnes. Quand il s'agit de freiner une voiture d'attelage, l'emploi d'un frein électromagnétique actionné par le wattman de la voiture motrice est, de l'avis des Tramways de Cologne, le système de freinage le plus rationnel.

Les *Tramways florentins* considèrent le freinage au moyen du frein à main ordinaire comme étant le plus rationnel. L'emploi du frein à contre-courant a fait constater certains inconvénients, en ce sens qu'il arrive parfois que le courant amené aux moteurs est tellement fort, que ceux-ci sont mis hors circuit par l'interrupteur automatique de la voiture, qui vient à déclancher.

Les *Tramways de Nuremberg-Fürth* considèrent les freins à main comme suffisants lorsque le poids des voitures n'est pas très important et pour autant que la mise en action de ces freins n'occasionne pas une trop grande fatigue au wattman chargé de les desservir. Les freins mécaniques deviennent nécessaires lorsqu'il s'agit de freiner soit des voitures d'un poids considérable, soit des trains composés d'une ou plusieurs voitures d'attelage ou bien encore lorsque le terrain est assez difficile ; de tous les freins mécaniques, les freins électriques semblent être les plus efficaces.

Les deux compagnies de *Tramways de Dresde* et les *Tramways de Hambourg* freinent tous leurs essieux. D'après ces compagnies, les freins électriques présenteraient sur les freins à air le grand avantage de réclamer une surveillance moins active et d'occasionner moins de frais d'entretien. Les freins à air devraient être employés lorsqu'il s'agit de freiner des trains comportant plus de deux voitures d'attelage.

Les *Tramways municipaux de Vienne* présentent une étude très complète et très intéressante sur la question des freins ; il y est recommandé de freiner tous les essieux. Parmi les freins électromagnétiques mis à l'essai, les freins à disques se sont moins bien comportés que les freins à solénoïde ; ces derniers remplaceront peu à peu tous les freins électromagnétiques à disques. De l'avis des Tramways municipaux de Vienne, l'emploi du frein électrique sera, à tous les points de vue, supérieur à celui de tout autre système de frein.

Les *Tramways municipaux de Zurich* font usage sur les pentes douces du frein à main comme frein de service et du frein électrique comme frein de secours ; sur les descentes de plus de 5 °/₀, le frein électrique est employé comme frein de service et le frein à main n'est plus utilisé que pour obtenir l'arrêt complet de la voiture.

Les *Tramways de Munich* ne freinent pas les essieux des voitures d'attelage. Cette dernière compagnie préfère le frein à air à tout autre système ; l'action du frein à air, dit-elle, est rapide, énergique et constante ; sa manœuvre est simple, présente une grande sécurité ; le frein permet, de plus, un freinage modérable ; enfin, son emploi réalise dans l'exploitation une économie, en ce sens qu'il ne fatigue en aucune façon l'équipement électrique des voitures.

La consommation d'énergie nécessaire au freinage d'une voiture, ajoute cette compagnie, est moindre dans le cas d'un freinage à l'air comprimé que dans le cas d'un freinage à main, car le conducteur freine moins souvent avec un frein à air qu'avec un frein à main, dont l'action est beaucoup plus lente.

Les résultats comparatifs auxquels il a été procédé, ont fait conclure que les résultats obtenus avec un freinage à air comprimé sont, pour le moins, aussi satisfaisants, sinon meilleurs, que dans le cas d'un freinage électrique.

Les *Tramways de Riga* ont équipé de freins à air tout aussi bien leurs voitures d'attelage que leurs voitures motrices. Le frein à air présente l'avantage d'être d'une manœuvre facile, d'un fonctionnement énergique et de plus d'une grande sécurité ; il n'est, en aucune façon, tributaire du courant électrique de la voiture ; la gelée peut cependant occasionner parfois un non-fonctionnement du frein.

Le renouvellement des sabots et des bandages est beaucoup plus considérable que dans le cas d'un frein électrique. Dans les voitures équipées de freins électriques, l'induit et les engrenages sont soumis à une usure assez importante. Au

point de vue de la simplicité de manœuvre et de l'énergie du freinage, les freins électriques présentent les mêmes avantages que les freins à air; ils ont, sur ces derniers, l'inconvénient de ne pouvoir fonctionner quand la voiture est au repos.

Les *Tramways de Barcelone à Saint-André* ont équipé leurs voitures légères de freins à main et de freins électriques; leurs voitures à boggies par contre, de freins à air. Les mêmes systèmes de freins se trouvent également sur les voitures d'attelage.

Cette compagnie recommande d'employer comme frein de service le frein électromagnétique; pour les automotrices à boggies, le frein à main sert de frein de service, et le frein à air de frein de secours.

La *Grosse Berliner Strassenbahn Gesellschaft* fait usage de freins électromagnétiques et de freins à air. Ces deux systèmes de freins sont également employés sur les voitures d'attelage. De l'avis de cette société, les freins électromagnétiques présentent l'inconvénient d'occasionner une usure prématurée de l'induit, des enroulements et du régulateur de marche; de plus, le freinage ne s'opère pas sans à-coup.

Le frein à air au contraire, n'utilise pour son fonctionnement aucun des organes électriques et permet de plus un freinage sans secousse; par contre, il réclame une majoration d'énergie d'environ 3 watts par voiture-kilomètre. Cette majoration dans la consommation de courant n'est cependant pas à comparer avec les dépenses nécessitées par l'entretien et le renouvellement des organes électriques endommagés par le frein Sperry.

En ce qui concerne spécialement le freinage des voitures d'attelage, les trois groupes comportent :

Groupe a): Voitures d'attelage équipées d'un simple frein à main; ce groupe comprend, dans la majorité des exploitations, les anciennes voitures à traction chevaline; leur poids n'est pas important et, en général, ces voitures ne sont pas freinées mécaniquement; le frein à main ne sert que sur les descentes ou encore en cas de danger. Dans quelques cas particuliers, les voitures d'attelage possèdent un frein électro-magnétique mis en action en même temps que le frein à court-circuit de la voiture motrice.

Groupe b): Les voitures d'attelage appartenant à ce groupe sont, à très peu d'exceptions près, freinées électriquement, en même temps que la voiture motrice.

Groupe c): A l'exception des voitures d'attelage de la Compagnie des Tramways de Munich, le freinage des voitures d'attelage de ce groupe est obtenu au moyen d'un frein à air continu.

L'auteur fait alors une étude critique sur les avantages et les inconvénients des différents systèmes de freins.

a) Freins a main

Pour ralentir la marche dans les descentes, toutes les voitures, tout aussi bien les voitures motrices que les voitures d'attelage, doivent être équipées d'un frein à main. Les voitures à frein électrique doivent, de toute façon, faire usage du frein à main dans les descentes. Les voitures à frein à air doivent également employer le frein à main, quand il s'agit de descente d'une certaine longueur, car il n'est pas possible d'éviter, à la longue, l'échappement de l'air comprimé, cet échappement, fût-il même lent, réduisant de beaucoup l'action du frein.

Les freins à main sont en général construits comme freins à chaîne; plus rarement comme freins à vis; ils se font remarquer par leur simplicité et leur bon marché, tout aussi bien au point de vue de la construction qu'au point de vue de l'entretien; ils suffisent comme frein de service lorsqu'il s'agit de voitures ou de trains d'un poids pas trop lourd, que les vitesses ne sont pas accélérées et que les descentes ne sont trop rapides; dans aucun cas, cependant, le fonctionnement de ce frein ne doit imposer un trop grand effort musculaire de la part du wattman, ni lui occasionner une trop grande fatigue.

Le frein à ruban employé par les Tramways électriques de Leipzig présente quelques particularités très intéressantes; un simple frottement entre un tambour calé sur l'essieu et un ruban enroulé sur ce tambour produit un freinage énergique sans réclamer d'effort musculaire de la part du wattman; la force vive de la voiture augmente également l'action du frein. Ce frein agit également sur les voitures d'attelage et a, dans ce cas aussi, donné de bons résultats.

Outre le frein à main, la grande majorité des exploitations utilisent également un frein à court-circuit pour opérer le freinage en cas de danger.

Les freins à main ne présentent que peu d'inconvénients; ils nécessitent notamment un effort musculaire de la part du wattman et lui occasionnent souvent une certaine fatigue, ce qui n'est cependant pas le cas pour le frein à ruban des Tramways de Leipzig; de plus, ils défôrment assez rapidement les bandages; enfin, leur action n'est plus assez énergique dans les pays du Nord, surtout lorsque la neige vient se placer entre le bandage de la roue et le sabot du frein.

b) Freins Électriques

Il semblait naturel de mettre à profit pour le freinage de la voiture la même force qui servait à la propulsion.

Les freins électriques ont permis de résoudre la question de cette façon : les moteurs électriques entraînés par la force vive de la voiture, travaillent comme générateurs, le circuit du freinage étant complété par les résistances du démarrage. Comme il n'est possible, dans le cas du frein électrique, de n'opérer un freinage qu'aussi longtemps que la voiture se trouve en mouvement, il est indispensable d'établir sur la voiture à côté du frein électrique, un frein à main afin de maintenir le cas échéant la voiture au repos.

Le frein électrique est aujourd'hui avec le frein à main, le frein le plus communément employé; il est notamment en usage comme frein de service, chez 22 % des exploitations ayant répondu au questionnaire.

Les voitures d'attelage peuvent également être freinées électriquement au moyen d'électro-aimants connectés par des câbles spéciaux à la voiture motrice.

Le freinage électromagnétique des voitures d'attelage présente le grand avantage d'utiliser aussi complètement que possible le courant en court-circuit, en répartissant l'action des freins d'une façon uniforme sur tous les essieux du train; ce qui permet d'obtenir ainsi un freinage tout à fait rationnel.

Les freins à solénoïde doivent être préférés aux freins à disques.

La supériorité des freins à solénoïde sur les freins à disques résulte des faits suivants. Les disques qui, au moment de l'arrêt, sont soumis à une induction magnétique énergique, peuvent parfois rester collés l'un contre l'autre après l'arrêt obtenu. De plus les freins à disques, qui n'agissent pas sur une timonerie spéciale, sont soumis à une usure assez rapide.

Ces inconvénients ne se rencontrent pas dans les freins à solénoïde de la maison Siemens-Schuckert, ni dans les freins à solénoïde analogues dûs à la maison Guénée.

Afin d'obtenir un freinage plus énergique, on a construit dans ces dernières années des freins électromagnétiques qui agissent directement sur le rail, tels le frein Schiemann et le frein Newel-Westinghouse. Seul le dernier de ces freins a été jusqu'ici expérimenté sur une vaste échelle. (*Tramways municipaux de Glasgow.*)

Dans les terrains difficiles, ce système de freinage semble présenter certains avantages.

Les membres de l'Union internationale qui ont assisté à l'Assemblée générale de Londres en 1902 ont eu l'occasion de voir expérimenter le frein Newel-Westinghouse. L'action de ce frein est si rapide qu'avec des voitures à double étage, il est à craindre que les voyageurs de l'impériale ne soient, par le choc d'arrêt, précipités en bas de la voiture.

Dans cette catégorie de freins à patins, entre aussi le frein Planta dont le fonctionnement est obtenu par le courant en court-circuit.

A notre avis, les systèmes de freins à patins sont encore à l'époque d'essais; nous croyons même que leur usage sera toujours restreint à des cas tout à fait particuliers; aussi ne nous y arrêterons-nous pas plus longtemps.

Comme inconvénients des freins électriques, certains prétendent qu'ils échauffent les moteurs outre mesure et qu'ils fatiguent assez bien les collecteurs, les régulateurs de marche et les engrenages. Un autre inconvénient des freins électriques est de ne pas permettre l'arrêt de la voiture sur la descente. Ce dernier inconvénient a cependant un résultat pratique par le fait même que dans les descentes, on sera toujours obligé de recourir au frein à main; on aura ainsi de la sorte la certitude que le frein à main se trouve en bon état de service.

L'emploi du frein électrique n'occasionne aucune fatigue au conducteur de la voiture, car le freinage ne réclame un effort musculaire de la part de celui-ci que lorsque la voiture est déjà presque arrêtée.

En ce qui concerne spécialement le premier des inconvénients cités plus haut, c'est-à-dire celui d'échauffer le moteur et de fatiguer plusieurs de

ses organes, cet inconvénient pourra, en effet, se présenter dans certaines circonstances, par exemple lorsque le type des moteurs est choisi trop faible, ou bien lorsque les graduations du régulateur de marche sont trop grandes. Mais rien n'empêche de choisir pour les moteurs un type supérieur à celui qui serait absolument nécessaire pour la marche proprement dite de la voiture et de faire usage d'un régulateur de marche avec des résistances de démarrage assez rapprochées.

Une telle disposition sera toujours plus économique que l'emploi des freins à air comprimé, tout aussi bien au point de vue des dépenses de premier établissement que surtout au point de vue des dépenses d'entretien.

L'on pourrait, il est vrai, prétendre qu'un type de moteur supérieur au type absolument nécessaire serait d'un volume et d'un poids beaucoup trop grand, que de plus, surtout en temps de service peu intense, le rendement du moteur serait inférieur à celui du type normal. Nous répondrons à cette observation en disant que, de par la nature même des tramways, il vaut beaucoup mieux, au point de vue des dépenses d'entretien, posséder un moteur trop grand qu'un moteur ne suffisant seulement qu'à la marche même de la voiture. En prenant d'ailleurs un moteur avantageux, on pourra sans crainte organiser un service par remorques et faire face plus facilement aux surcharges comme, par exemple, aux surcharges résultant de la présence de la neige sur les rails, etc.

Quant au moindre rendement, il convient de ne pas donner une trop grande importance à cet inconvénient, car, dans les exploitations urbaines notamment, le rendement d'un moteur est surtout influencé par les arrêts et démarrages continuels. Quoi qu'il en soit, les propriétés que l'on a l'habitude de réclamer d'un bon moteur de tramway, telles que bon isolement, simplicité de construction, résistance contre les chocs violents, bonne étanchéité, etc., ne sont pas toujours compatibles avec un fort rendement.

Les essais de freinage dont a parlé M. Poetz, dans son rapport à l'Assemblée générale de Londres, montrent d'ailleurs bien que le freinage électrique est supérieur à tous les autres.

c) Freins a air comprimé

Parmi les avantages des freins à air, l'auteur cite : simplicité de fonctionnement, l'indépendance du frein de l'équipement électrique de la voiture, la moindre fatigue des organes électriques, la possibilité de freiner à tout instant et sur les longues descentes, une action certaine, rapide et sans secousses.

Les *Tramways de Munich* prétendent que le freinage par frein à air amène avec lui, de par le fait même qu'il est complètement indépendant des organes électriques, une économie dans les frais d'exploitation. Cette compagnie ajoute, de plus, que la consommation de courant est moindre dans le cas d'une voiture freinée par le frein à air que dans le cas d'une voiture freinée à la main.

Cette affirmation de la part des *Tramways de Munich*, dont précisément les frais d'exploitation sont assez élevés, a tout lieu d'étonner ; elle est d'ailleurs à l'encontre des résultats acquis par les autres exploitations qui, toutes, ont constaté pour le freinage à air une consommation d'énergie assez élevée.

L'auteur a cherché à déterminer quel était le surplus de consommation de courant nécessité pour le fonctionnement de la pompe à air. Ces essais eurent lieu, toutes conditions égales d'ailleurs, sur une ligne de 4.135 km. ; chaque catégorie d'essais comprenait 12 voyages exécutés d'abord avec frein à air comprimé, ensuite avec un frein électrique; dans cette dernière catégorie d'essais la pompe à air avait été démontée.

Le courant était mesuré par deux compteurs établis en série.

Il fut constaté que la consommation moyenne avait été de 429 watt-heures par km. pour les voyages sans pompe à air et de 456 watt-heures par kilomètre pour les voyages avec pompe à air; les pompes à air avaient donc réclamé pour leur fonctionnement 27 watt-heures, soit 6,3 % de la consommation kilométrique.

Le nombre d'arrêts étant de 3,62 par kilomètre, le courant nécessaire à chaque arrêt était en conséquence de 7.5 watts.

Pour obtenir des conditions de frottement aussi uniformes que possible, les coussinets avaient été graissés à l'huile et non à la graisse.

Les essais auxquels il fut procédé donnèrent une consommation de 27 watt-heures par motrice-kilomètre. Les *Tramways de Berlin* estiment le surplus de consommation à 3 watt-heures par voiture-kilomètre ; cette même compagnie, lors du congrès de Londres, avait donné les chiffres de 15 à 20 watt-heures.

Quant aux autres avantages énumérés ci-dessus et que l'on reconnaît au frein à air, les freins électriques les possèdent également, si l'on a bien soin d'établir le freinage d'après les principes énoncés plus haut sous *b)*. De plus, le frein électrique est d'un service plus facile, en ce sens qu'il nécessite le fonctionnement d'une manette seulement.

Le frein à air présente, il est vrai, l'avantage d'être complètement indépendant de l'équipement électrique de la voiture ; par contre, il présente toute une série d'inconvénients.

Il y a tout d'abord lieu de faire remarquer que, du fait même de sa complication, il est plus souvent sujet à être dérangé que l'équipement électrique de la voiture qui, lui, est d'une grande simplicité. De plus, il ne faut pas oublier que le frein à air peut ne pas fonctionner en temps de gelée ; il en est de même lorsque la neige vient se placer entre le bandage de la roue et le sabot du frein.

Enfin si l'on choisit le frein à main comme frein de service, on a dans le cas d'un frein électrique, qui est plus longtemps employé simultanément avec le frein à main, une plus grande certitude que le frein électrique fonctionnera bien en temps voulu, que dans le cas d'un frein à air, car alors le freinage simultané à la main n'est que fort rarement employé.

La majorité des exploitations reconnaît d'ailleurs que les frais de premier établissement et surtout les frais d'entretien et la consommation d'huile de graissage sont beaucoup plus élevés pour le frein à air que pour tout autre système.

Un autre inconvénient du frein à air réside dans la forte pression qu'il occasionne entre le sabot du frein et le bandage de la roue, occasionnant ainsi une usure plus rapide de ces organes.

Ces différents facteurs en défaveur des freins à air, ont été probablement les motifs pour lesquels les *Tramways de Barcelone-Saint-André* et les *Tramways d'Amsterdam* recommandent les freins électriques ; c'est probablement pour ces mêmes motifs que certaines exploitations qui n'avaient équipé qu'une partie de leurs voitures de freins à air, n'en ont pas continué l'équipement sur la totalité de leur matériel roulant.

Comme l'a fort bien fait remarquer M. Poetz dans le rapport qu'il a présenté à l'Assemblée générale de Londres, le freinage mécanique des tramways se résume aujourd'hui à la question de savoir à quel système de freins il faut donner la préférence : au frein électrique ou bien au frein à air.

De cette étude l'auteur déduit quelques principes qu'il y aurait lieu de prendre en considération lors de l'achat de nouvelles voitures.

1. Dans le choix du système de frein, toutes les circonstances particulières au service doivent être prises en considération ; l'application de chacun des trois systèmes : frein à main, frein électrique, frein à air comprimé, doit être minutieusement étudiée.

Le freinage doit pouvoir s'opérer sans à-coups. L'équipement de la voiture doit comporter deux systèmes de freins complètement indépendants l'un de l'autre. Le frein de service doit toujours être tel qu'il n'occasionnera jamais de fatigue au wattman.

2. Lorsque, par suite du poids des voitures, de la remorque de voitures d'attelage, ou aussi des difficultés du terrain, le frein à main ne pourrait plus être employé rationnellement comme frein de service, on emploiera comme tel un frein mécanique, et de préférence un frein électrique.

3. Si l'emploi du frein électrique comme frein de service présentait certains inconvénients résultant par exemple du choix d'un type de moteur trop faible, d'une graduation trop large des résistances du démarrage, dans ce cas, il sera avantageux d'employer le frein à air comprimé ; l'emploi de ce dernier système de frein deviendra d'ailleurs indispensable, lorsque les voitures sont assez lourdes, qu'elles roulent à une grande vitesse, ou encore lorsque les trains comportent plus de deux voitures d'attelage.

Enfin il fait remarquer avec satisfaction que l'enquête organisée par les soins de l'Union Internationale n'a guère apporté de points nouveaux concernant la question des freins ; bien plus, que la résolution prise à l'Assemblée générale de Genève (1898), reflète encore aujourd'hui fidèlement la manière de voir de la majorité des exploitations de tramways ; cette résolution dit :

„L'emploi simultané de deux freins se recommande pour la traction électrique ; l'un des deux doit être un frein à main (manivelle, levier ou contrepoids, avec chaîne ou vis), l'autre un frein mécanique (électrique, magnétique ou à air comprimé). La simplicité et le bon fonctionnement du frein électrique lui assurent la préférence dans la plupart des cas et le font recommander comme frein de service."

(*A suivre.*)

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant : A. BONNET.

Tome XLI. Samedi 8 Octobre 1904. 11e Année. — N° 41

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

RÉSISTANCES MÉTALLIQUES POUR LE DÉMARRAGE ET LE RÉGLAGE

Depuis quelques années, beaucoup de constructeurs recherchent de nouveaux arrangements de résistances, leur permettant de les utiliser au mieux soit en réduisant leur encombrement, et ce, dans le but d'obtenir une réduction dans leur prix d'établissement, partant de vente.

Les résistances peuvent être constituées de différentes manières. Nous ne voulons dans cette étude nous occuper que de celles dont l'élément est composé par une matière métallique et laisser de côté celles pour la construction desquelles l'on utilise soit le charbon ou le graphite, soit un liquide.

La construction la plus ancienne, adoptée pour l'exécution des éléments de résistance, paraît être celle ayant la forme d'un ressort en boudin enroulé en spirale ; et cette solution ne pourrait guère être remplacée avantageusement par d'autres combinaisons, tant que l'on n'a à s'occuper que de résistances de faible énergie.

Ces résistances, enroulées en spirales, offrent pourtant de graves inconvénients. Si les boudins dépassent une certaine longueur, leurs spirales se replient, se déforment facilement et arrivent à se toucher les unes les autres au lieu de rester isolées. Aussi pour obtenir la séparation des spires, les place-t-on verticalement et ce surtout, lorsqu'on doit faire plusieurs rangées de spirales. Afin d'empêcher la déformation des spirales et de les maintenir rigides on a recours à divers procédés. Certains constructeurs placent à l'intérieur des rubans d'amiante et les montent sur des poulies en porcelaine, des plaques d'ardoise ou d'amiante.

Mais avant de poursuivre cette étude et d'examiner les divers types livrés aujourd'hui par l'industrie, nous croyons utile d'établir une classification entre eux. On peut en effet diviser les résistances en deux catégories. La première comprenant les appareils dont les résistances sont continuellement parcourues par le courant tandis que la seconde comprend ceux dans lesquels les résistances ne sont parcourues qu'un certain temps par le courant. C'est à cette seconde catégorie qu'appartiennent les résistances pour les rhéostats de démarrage et de réglage. Elles ne sont en effet sous l'action du courant que pendant un temps assez restreint et peuvent par conséquent, son action achevée, se refroidir librement. Il faut en effet remarquer que, pour les résistances à charge constante, il se produit un certain dégagement de calories amenant un échauffement des matières constituantes et que par conséquent il est nécessaire de prévoir la facilité de leur refroidissement et la diffusion de la chaleur produite dans le milieu ambiant. Pour les appareils soumis à une charge intermittente, on peut au contraire augmenter considérablement la densité du courant par $^m/_{m^2}$, tout en restant dans une certaine limite pour ne pas amener la détérioration des spires.

Il sera donc nécessaire, lorsqu'on emploie les appareils de la première catégorie de prévoir une bonne ventilation facilitant un refroidissement rapide des organes ; au contraire lorsque ce seront ceux de la seconde catégorie dont on fera usage, il sera utile de leur adjoindre une enveloppe calorifuge, jouant un véritable rôle d'accumulateur d'énergie transformée en chaleur, celleci ne se dissipant que très doucement dans le milieu ambiant. Cette enveloppe présente de plus le grand avantage de maintenir les divers éléments de résistance dans leur position et de les garantir contre les trépidations et les dilatations dues à l'action du courant.

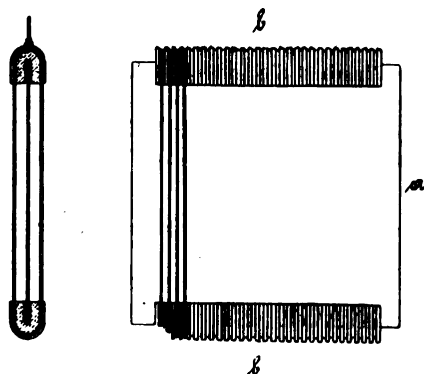


Fig. 1

Aussi peut-on donner aux résistances de la seconde catégorie un aspect compact et arriver à les disposer dans un espace plus réduit que celles de la première. Nous voulons donner maintenant la description en commençant avec les résistances pour une charge continuelle.

La figure 1 représente une résistance en fil qui donne d'excellents résultats sous l'action de courant de faible intensité et qui permet une grande charge de matériel dans un faible espace, grâce à une bonne ventilation.

A est une plaque en fer d'une épaisseur convenable sur laquelle sont adaptés les cavaliers en porcelaine *b b'*. Ces cavaliers sont munis d'une certaine quantité de rainures destinées à faciliter le montage du fil de résistance. Cette plaque en fer *a* se trouve souvent remplacée par une plaque en ardoise ou en amiante. Mais nous préférons de beaucoup la première, parce qu'elle dégage mieux la chaleur et d'autre part sa solidité n'est pas à comparer à la fragilité des plaques d'ardoise.

Dans la fig. 2 nous voyons une disposition utilisant également des plaques de fer afin d'obtenir une bonne réfrigération de l'air. La disposition représentée par cette figure est une de celles adoptées par la firme Voigt et Haeffner de Francfort-sur-Mein.

Sur les tiges *a*, *b*, *c*, sont fixées des douilles en porcelaine séparées les unes des autres par des tôles. L'élément de résistance en forme de spire est librement placé sur les grandes douilles *d* et fixé sur les petites *l* et *f* par un fil. Afin d'obtenir une bonne ventilation, les résistances sont séparées par des tôles dans le sens de la longueur tandis qu'elles sont libres dans celui de la largeur. La résistance ainsi constituée est montée de manière à ce

que tous les éléments soient verticaux. Plusieurs maisons préfèrent employer des cylindres en porcelaine munis d'une rainure hélicoïdale dans laquelle s'adapte le fil de résistance. Le poids de ces résistances est assez considérable et de plus on doit bien observer le maintien des fils dans les cannelures pour qu'ils n'arrivent pas à se toucher par suite de la dilatation produite par les charges élevées.

La Maison Siemens et Halske à Berlin a adopté, pour certains cas, une disposition dans laquelle l'intérieur du cylindre en porcelaine est traversé par un courant d'eau produisant un refroidissement plus complet. On a aussi exécuté des cylindres en terre cuite dont les cannelures, logement du fil de résistance, sont recouvertes par une couche d'émail. Ce genre de résistance n'a pas eu beaucoup d'applications. Il est surtout utilisé par la Maison Dr Levy à Berlin et par plusieurs firmes américaines pour les résistances de calorifère et de foyers électriques. La construction même est très simple. Sur une plaque en fer recouverte d'une couche d'émail on enroule en spirale un ruban ou boudin de résistance; on recouvre alors à nouveau le tout d'une couche d'émail, en sorte que le fil est complètement enfermé dans de l'émail. On obtient ainsi des éléments de résistance très compacte qu'on peut juxtaposer convenablement.

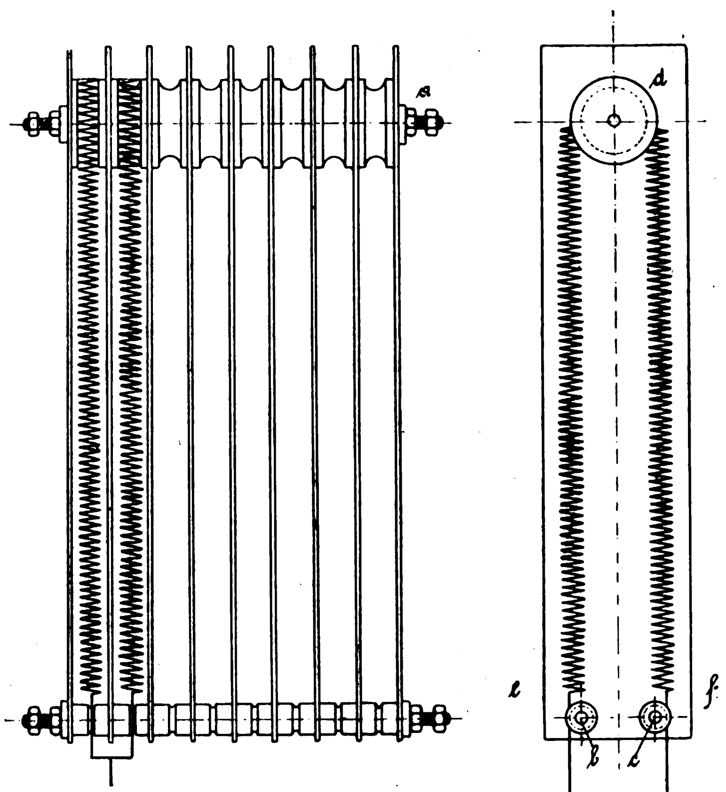


Fig. 2

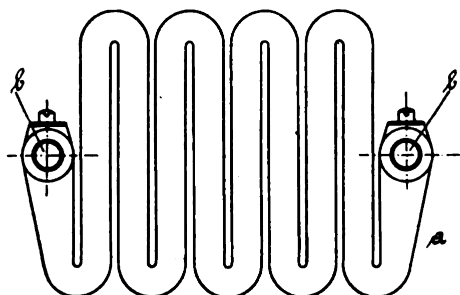
Il arrive parfois qu'on a à monter des résistances dans des endroits pouvant être inondés de temps en temps ou dans des endroits où elles seront exposées à l'action des vapeurs acides.

Pour les protéger contre l'action du temps il suffit de les disposer dans des boîtes munies d'ouvertures de ventilation placées à l'abri de la pluie.

Si les résistances doivent être temporairement placées dans l'eau, on dispose les rhéostats dans des caisses fermées hermétiquement. Le cas se présente assez souvent dans des installations exécutées à bord des navires, ou au fond des mines, et, dans ce dernier cas on doit faire appel à de fortes résistances pour le démarrage des moteurs actionnant les pompes d'épuisement. On les loge en général dans des bassins à huile. Ce genre de résistance peut être constitué par des fils ou par des rubans métalliques. Leur refroidissement est activé en plaçant dans les bassins à huile des serpentins à circulation d'eau.

La figure 3 représente une résistance à grilles. Celles-ci sont en général en fonte, mais, suivant l'usage auquel on les destine, elles peuvent être constituées par un alliage. Ces grilles sont disposées sur deux tiges *b b'* isolées par des tubes de micanite. Des rondelles isolantes en micanite séparent les grilles les unes des autres et les maintiennent à la dis-

tance voulue suivant le mode de connexion. Son montage est assez simple et d'un coût assez réduit. Mais ce genre de résistance est à rejeter lorsqu'on emploie des courants de



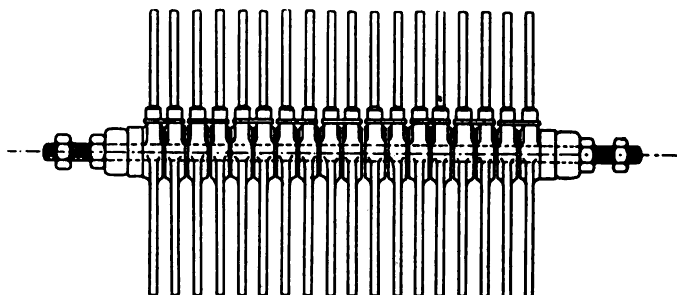


Fig. 3

grande intensité. Il est préférable, dans ce cas, d'adopter le dispositif représenté par les figures 4 et 5.

La figure 4 donne schématiquement l'agencement dont on peut se servir. Les rubans de résistance en tôle *b* sont montés sur des supports *a*. Ces rubans sont repliés sur une lon-

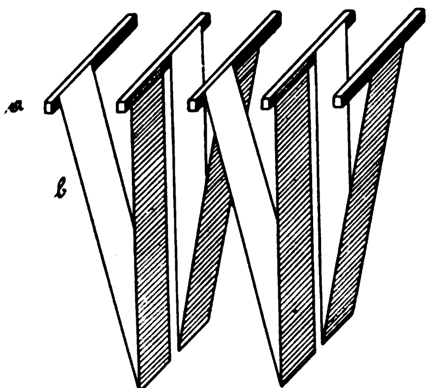


Fig. 4

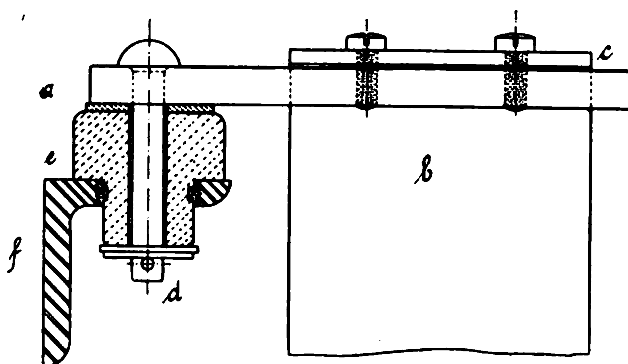


Fig. 5

gueur correspondante à la largeur des supports *a* et y sont fixés à l'aide de plaques de serrage *c*. Les supports sont fixés sur des douilles en porcelaine *e* et sont maintenus par des tiges *d*. Ces douilles sont scellées dans leur châssis à cornières *f* par un mastic de litharge et de glycérine.

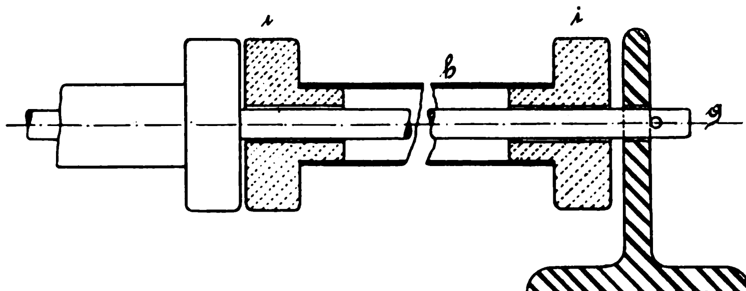


Fig. 6

A leur partie inférieure les rubans sont disposés librement sur un tube *h* isolé de sa tige *g* par des douilles en porcelaine *i*. Les rubans peuvent donc se dilater sans inconvénient.

Si les rubans dépassent une certaine longueur, on les munit de rebord leur donnant une certaine rigidité. Ces résistances sont disposées sur deux rangées, ce qui permet une bonne issue à la chaleur qui se dégage. Dans ce système, toutes les connexions se font avec du cuivre plat aux supports.

La figure 7 montre les dimensions que peut atteindre un rhéostat. Le rhéostat y est construit d'après le principe que nous venons de décrire. Il est destiné à un moteur triphasé asynchrone de 1500 chevaux à 6000 volts. Ce moteur attaque directement un laminoir et il

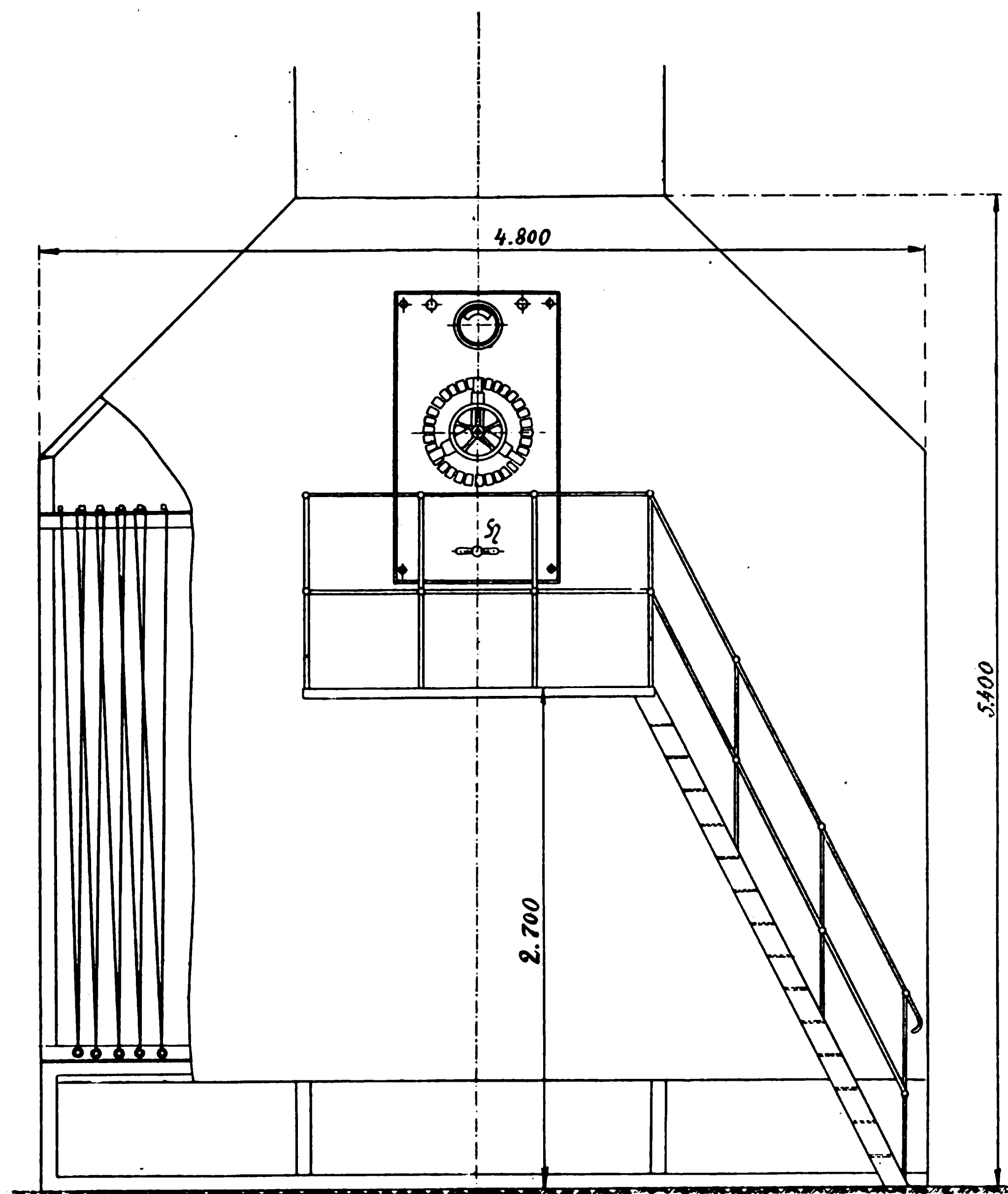


Fig. 7

est imposé un réglage de 125-150 tours. Ce réglage est obtenu par l'introduction de résistances dans le circuit du stator. Le renversement de marche du moteur se fait à l'aide d'un interrupteur à l'huile à double direction à déclenchement automatique à maxima.

Cet interrupteur ainsi que les transformateurs d'intensité pour le déclenchement et l'ampèremètre sont placés en sous-sol. Le changement de marche se produit par la manœuvre d'un levier H, dont le mouvement est transmis par un câble métallique.

En cas de déclenchement automatique de l'interrupteur par suite d'un courant trop élevé,

il faut tourner le volant de manœuvre du rhéostat de démarrage et l'amener sur la position de démarrage, avant qu'un enclenchement de l'interrupteur puisse se produire.

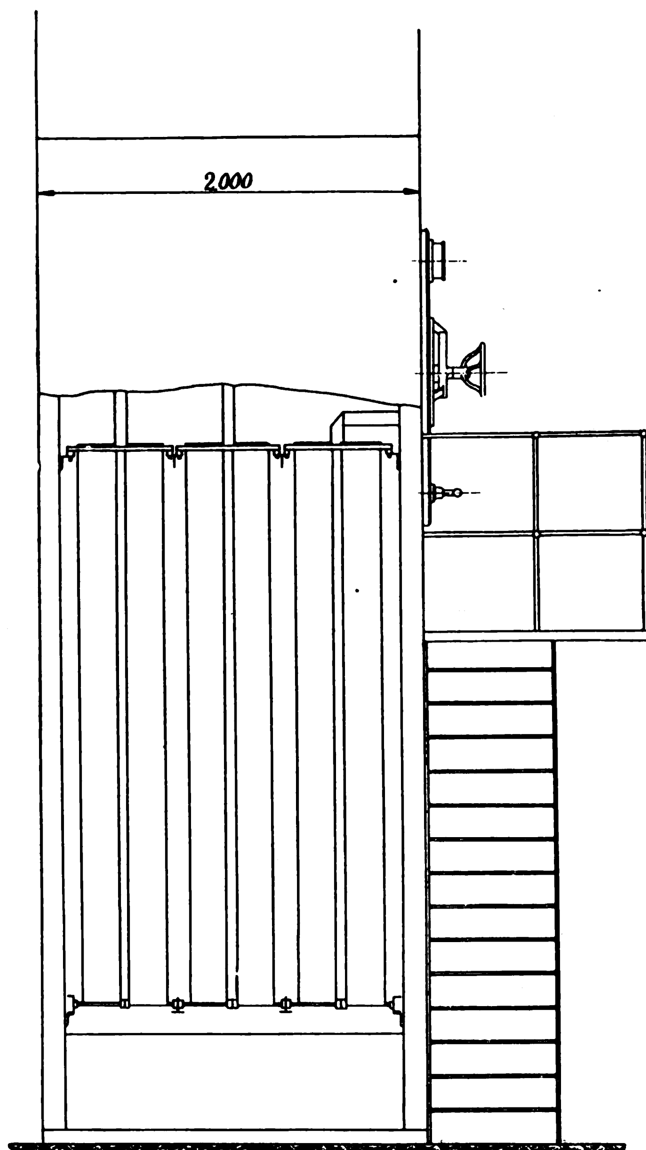


Fig. 7

Le châssis du rhéostat constitué par des cornières et des fers à L est entouré d'une enveloppe de tôle commençant à une hauteur de 800 $^m/_m$ au-dessus du sol et ce, afin de permettre une bonne ventilation. Celle-ci est de plus assurée par une cheminée d'appel dépassant la toiture du bâtiment.

Nous n'avons jusqu'ici parlé que des résistances de la première catégorie ; examinons maintenant quelques types de la seconde. Comme nous l'avons fait remarquer, les appareils de ce groupe peuvent être chargés d'une façon de beaucoup supérieure à ceux du premier groupe. Mais par suite de cette augmentation d'intensité, nous aurons à prévoir un dégagement plus considérable de calories. Aussi revêt-on en général les résistances à courant intermittent, d'une enveloppe incombustible, dont la nature diffère suivant les Maisons et la destination. Certaines firmes ont adopté, à cet effet, du sable, du plâtre, du ciment, de l'amiante, etc., etc.

Aussi ne pouvons-nous donner dans cette courte étude une description détaillée et complète de tous les types en usage aujourd'hui, cela nous entraînerait trop loin. Nous voulons donc nous borner à quelques particularités les plus intéressantes.

Voici d'abord une construction qui est à recommander pour les petits rhéostats.

On enroule du fil d'un diamètre maximum de 1 $^m/_m$, sur des plaques en ardoise d'amiante d'une épaisseur de 3 à 5 $^m/_m$, de 40 $^m/_m$ de largeur, sur 250 $^m/_m$ de longueur. Cet enroulement se fait, on ne peut mieux, lorsqu'on fait usage du tour. Les plaques, ainsi enroulées et isolées par une couche d'amiante, sont assemblées par paquets et maintenues par des plaques de serrage et des boulons. Parfois entre deux plaques sont disposées des tôles les dépassant de plusieurs centimètres et ce, afin de permettre un meilleur dégagement de chaleur.

Ces ardoises d'amiante sont parfois remplacées par du mica ou de la porcelaine. Mais cette substitution n'offre pas un avantage surtout si l'on fait entrer en ligne de compte le coût de ces matières isolantes.

Dans les figures 8 et 9 nous indiquons une disposition de résistance « à tube », adoptée par la Maison Voigt et Haeffner. Un tube en laiton très mince de 35 à 40 m/m de diamètre est plaqué à l'intérieur d'une couche d'amiante de 2 m/m d'épaisseur. Le fil de résistance en matière dure est enroulé sur un mandrin convenable et introduit dans le tube en laiton.

Par l'élasticité, le fil s'applique parfaitement à ce dernier. La résistance étant ainsi introduite dans son enveloppe, l'on ferme le tube par des bouchons en porcelaine rainurés sur leur pourtour. De cette façon, la spirale est solidement maintenue dans le tube. Celui-ci est de plus rempli de ciment bien sec formant l'isolant. Cette disposition représentée figure 9, est surtout adoptée pour les tramways, ponts-roulants, etc.

Les figures 10 à 12 nous montrent encore une disposition fort en usage dans les tramways.



Fig. 8

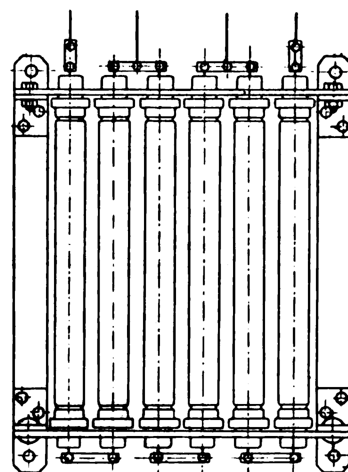
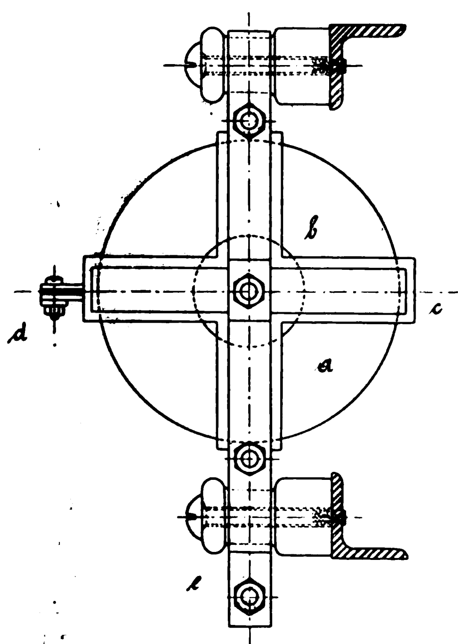


Fig. 9

Un ruban d'acier est enroulé avec un ruban d'amiante ou de mica et forme ainsi une bobine dont la fixation se fait de la manière suivante :



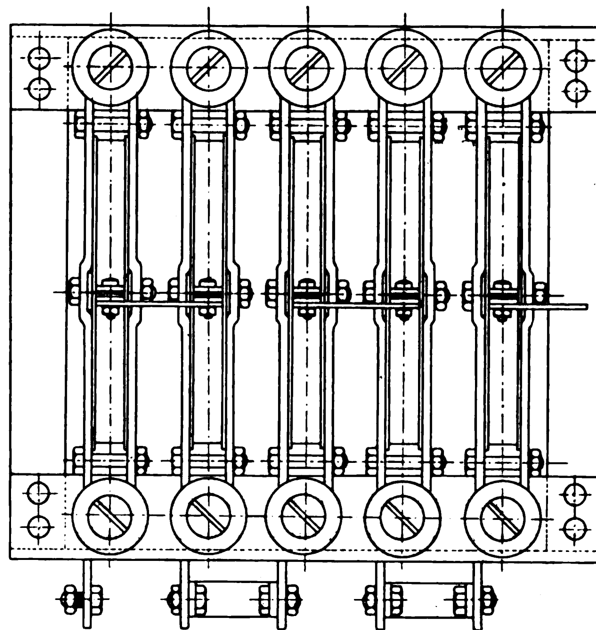


Fig. 10

Le ruban figure 10, enroulé par un outillage spécial, est en connexion avec le disque *a* auquel il est maintenu par un double croisillon *b* le garantissant en même temps contre tout mouvement latéral. Ce croisillon *b* est en circuit avec le disque ; *a* est le commencement du

ruban dont l'extrémité est maintenue par un cavalier *d*. Ce cavalier le préserve de tout déroulement. L'élément ainsi constitué est fixé sur des isolateurs placés sur un cadre en cornières et fers plats.

Nous voyons sur la figure 11 que le commencement du ruban est fixé avec des rivets ou boulons sur le disque en fonte *a*, puis enroulé avec l'interposition d'amiante ou de mica,

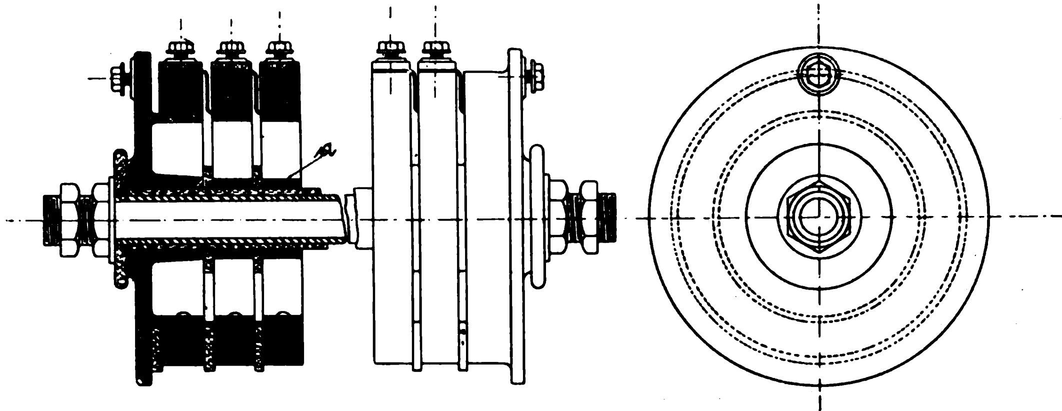


Fig. 11

ci-dessus indiqué. Le tout est alors serré et maintenu par un anneau en fonte sur lequel est adaptée la borne de connexion. Les éléments sont alors montés sur un tube à gaz, isolé avec de la micanite. Ils sont séparés les uns des autres par des rondelles d'amiante et les rondelles d'extrémité.

Une disposition analogue à celle que nous venons de décrire est donnée par la figure 12. On a toutefois supprimé les anneaux de recouvrement par l'inclinaison du ruban, ce qui empêche tout mouvement latéral. La bobine est serrée par un fil de cuivre servant en même temps de connexion. Les éléments ainsi exécutés sont placés sur une tige à section carrée, ayant pour but d'éviter tout mouvement d'oscillation. Cette disposition est d'un coût assez réduit.

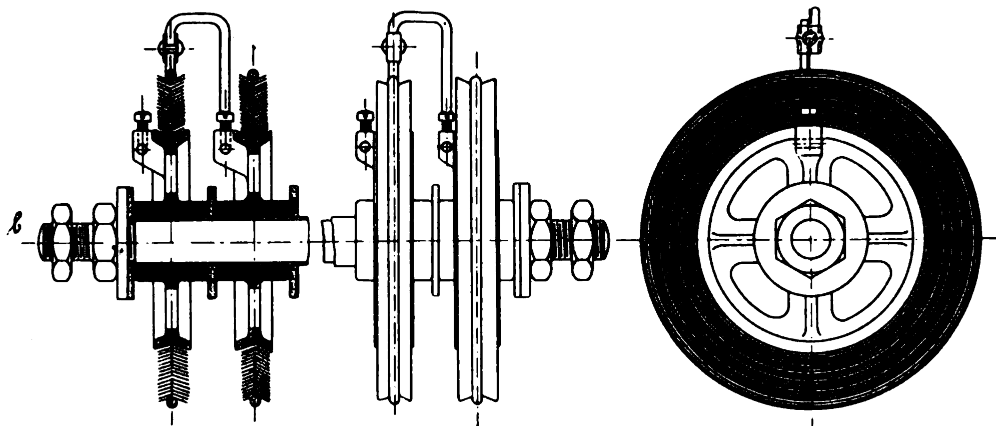


Fig. 12

Nous avons, dans cette courte étude, cherché à montrer toute l'importance des grandes résistances réduites au plus petit volume. Importance d'autant plus considérable que leur usage devient de plus en plus fréquent avec l'adoption des hauts voltages et que par conséquent, à rendement égal, les préférences des acheteurs iront au plus faible encombrement.

Aussi sommes-nous persuadés que tous les types nouveaux se construisent dans ce sens.

Fr. Lindenstruth et O. Forster.

PROGRÈS RÉCENTS DANS LA FABRICATION DES CHARBONS ARTIFICIELS

Traduction libre d'un cours du professeur Docteur Julius Zellner à Bielitz par E. Ornstein, chimiste, Directeur des usines Schiff et Cᵉ, à Schwechat (Autriche).

La fabrication des charbons artificiels a fait dans les derniers temps quelques progrès. Comme la consommation augmente, le nombre des usines produisant ces corps s'accroît d'année en année. Il y a une trentaine de ces établissements, en Europe, qui se font une concurrence acharnée ; les Américains, plus pratiques, ont réuni un nombre à peu près égal d'usines dans un trust.

Pour constater l'importance de l'industrie en question il suffit de dire qu'elle emploie au moins 5000 personnes, qu'elle travaille avec un capital d'environ 100 millions de francs et que son mouvement annuel représente au moins le double de cette somme.

Considérons d'abord la fabrication des électrodes à l'usage de l'électro-chimie.

La crise que vient de passer l'industrie des Carbides, a forcé les Carburiers de faire des économies. Leur plus grande dépense est l'achat des électrodes; par conséquent ils faisaient de leur mieux pour les obtenir le meilleur marché possible. Ils ont réussi. En 3 années, le prix de vente de ce produit a diminué de 50 °/₀.

Les usines produisant des électrodes ont été forcées, en raison du prix, d'abandonner l'emploi du charbon de cornue et d'étudier le traitement de l'anthracite, matière première coûtant beaucoup moins cher. Les électrodes en anthracite, livrées aujourd'hui par des fabricants bien outillés, ont une durée plus longue que celles en charbon de cornue d'il y a trois ans. Tandis qu'au commencement de la fabrication du carbide, on dépensait pour 100 kilogs de ce produit 10 à 15 kilos d'électrodes, on n'a plus besoin à présent que de 6 à 10 kilogs au plus ; quelques ateliers prétendent n'en dépenser que 3 °/₀.

Les impuretés de l'anthracite, 3 à 5 °/₀ de cendres au minimum empêchent de l'employer à la fabrication de l'alumine. Les électrodes de cette industrie se font actuellement en cokes de pétrole qu'on peut se procurer avec 0, 1 °/₀ de résidus.

On n'a pas encore réussi à employer le charbon de bois pour la production des électrodes ; les corps préparés avec cette matière bon marché et pauvre en cendres, ont une résistance électrique beaucoup plus grande que ceux formés avec d'autres variétés de charbon. Ils consomment donc trop de courant, ce qui les exclut.

En 1891, W. Luzi a entrepris la communication de ses expériences sur la nature du carbone (Berichte Ch. G. 1891 p. 4085, 1892 p. 1378, 1893 p. 890).

Il a prouvé qu'on peut transformer le carbone amorphe dans un milieu de silicates absolument indifférents sous l'influence de la chaleur en des cristaux de graphite.

Il obtenait un dépôt de carbone d'aspect métallique, blanc-d'argent, en exposant une surface de porcelaine portée à 1700-1800, à une flamme produisant du noir de fumée. Il arrivait à ce résultat qu'il faut s'attendre à la révélation d'un grand nombre de modifications du carbone et qu'il y a possibilité de transformation de ces différentes variétés.

Depuis ce temps, la transformation du carbone amorphe en graphite cristallin a fait de grands progrès, grâce surtout au concours de l'électricité. En 1893, Girard et Street ont fait breveter (D. R. P. 78926) leur procédé de transformation du carbone amorphe sous l'influence de l'arc voltaïque.

La Société « Le Carbone » utilise ce procédé dans ses usines de Savoie et d'Allemagne. Elle produit surtout des balais pour dynamos qui se distinguent par leur homogénéité

***

et leur résistivité inférieure aux charbons ordinaires ce qui permet de les charger de 15 à 20 ampères par cm. de surface frottante : de plus les frottements sont très doux; par suite, l'usure du collecteur est insignifiante. Ces qualités justifient leur emploi très répandu malgré leurs prix élevés. Pour la traction, on a avantage à se servir des balais en charbon amorphe.

Le brevet américain N° 568323 du 29 Septembre 1896, accordé à Acheson, marque un progrès très important dans la fabrication des outils employés en Electrochimie. La découverte d'Acheson part de la constatation que le carbone est transformé en graphite si l'on chauffe le carbone amorphe en présence de corps qui peuvent donner des carbures dont la décomposition fournit du graphite. Il expose donc au four électrique les objets de carbone amorphe légèrement mélangés avec des oxydes de fer, etc. et les soumet à un fort courant électrique ; ces objets ont déjà leur forme définitive.

La International Acheson Graphite C°. qui utilise une partie de la chute du Niagara produit des quantités importantes de graphite artificiel et d'électrodes.

Ces derniers produits se distinguent par leur conductibilité, qui est 4 fois plus grande que celle des électrodes préparées avec du carbone amorphe, par la facilité de leur façonnement (on peut les tailler au couteau) et surtout par leur résistance beaucoup plus grande ce qui justifie leur emploi toujours croissant pour l'électrolyse.

Le prix très élevé exclut toutefois la possibilité d'en faire usage pour la fabrication de carbure de calcium; de plus la Acheson C° ne fournit pas encore des électrodes de grandes dimensions.

D'après les rapports du Bureau géologique des Etats-Unis, la Société d'Acheson produisait:

en 1897	81.000 kilos
1900	430.000 kilos
1901	1.200.000 kilos

de graphite artificiel et de corps graphités ; depuis ce temps, sa production a encore sensiblement augmenté (Voir : Ed. Donath, le graphite. Leipzig, 1904).

Nous n'avons pas connaissance des progrès concernant la fabrication des charbons pour piles. Toutefois il est à noter que les consommateurs demandent de plus en plus des charbons agglomérés non cuits. Une grande partie de l'oxygène du manganèse est en effet chassée par la température élevée des fours. Nous avons trouvé que la teneur en carbone des charbons employés à cet usage est sans importance pour la force motrice des piles ; des graphites naturels de la Bohême avec 60, 70 °/₀ de carbone donnent les mêmes résultats que ceux du Ceylon avec 85, 90 °/₀ de carbone. La durée d'action des agglomérés, dépend de la teneur en MnO^2 du manganèse. Cette partie de notre industrie ne gagne que peu de terrain. Les centrales modernes de téléphones abandonnent l'emploi des piles ; l'électricité est même dans les petites villes sous une forme plus commode à la disposition des médecins. — (Voir Prof. Zellner; Centralblatt Accumulatorenkunde 1903 p. 87, 88. C. F. Burgess (Electrical World 1902 p. 156).

Balais de charbon. Les avantages et les inconvénients des balais de cuivre ou de charbon ont été souvent l'objet d'études de la part des électriciens.

Ces derniers temps on a essayé de fabriquer des balais au moyen de ces 2 corps combinés.

M. le Dr Seifert entoure le noyau métallique de ces corps de charbon.

M. P. Germain fait de même. — M. Loewenthal mélange les particules de charbon avec du cuivre (soit par un dépôt galvanique, soit autrement) et presse fortement celles-ci de

manière que les grains forment un corps compact, sans employer pour cela une matière agglomérante.

Ringsdorff à Essen comprime des mélanges de poudres de cuivre et de charbon (graphite) et de goudron avec une pression de 500 kilos dans des moules fermés entièrement, puis il les porte à une température très élevée. Un de ces balais était composé de 67 % de Cu et de 33 % de C. il donnait des résultats satisfaisants dans la pratique. Voir : Dr Streintz Leitvermogen von gepressten Pulvern (conductibilité des poudres comprimées), Dr Ing. Max Kahn : Uebergangswiderstand von Kohlenbürsten.

Casselman a le premier étudié l'effet des différents sels sur l'arc voltaïque. — En 1843 (Poggendorf's Annalen), il comparait déjà l'intensité des lumières obtenues avec des charbons ordinaires et avec des charbons saturés de solutions de sels de baryum, strontium, etc. Il arrivait à ce résultat qu'on obtenait, avec la même énergie employée, la double intensité par l'emploi de ces sels.

Carré (comptes-rendus 1877 p. 346) recommande d'incorporer aux charbons, destinés à la production de l'arc, des métaux sous forme de sels ou oxydes pour varier l'intensité et l'éclat de la lumière. Il constatait que l'arc des charbons ainsi préparés avait une longueur double et que le rendement en lumière progressait dans la proportion de 1 à 1,5.

Niewerth à Berlin a fait breveter en 1894 des charbons pourvus de deux ou plusieurs trous remplis de matières qui atténuent la lumière ou qui en augmentent l'intensité.

Malgré ces expériences, on évitait d'incorporer aux charbons des corps minéraux pour ne pas troubler le régime de l'arc qu'on n'avait obtenu qu'après beaucoup d'efforts à l'aide de la mèche (mélange de charbon et de silicate de potasse) proposée déjà par Jablochkow, brevetée et industriellement utilisée pour la première fois par Siemens Frères (1879).

Il est évident que chaque pourcentage de non-charbon réduit en proportion la durée de combustion de l'électrode, ce qui est toujours un inconvénient. En outre il est impossible d'obtenir un mélange absolument homogène, tout en perfectionnant les malaxeurs, en prolongeant la durée du malaxage ; il en résulte est une lumière instable et de couleur variable. On saturait donc les charbons par des solutions de sels, toujours sans résultat ; on les trempait dans des sels fondus et l'effet fut également mauvais. On n'arrivait jamais à l'homogénéité indispensable. On était satisfait d'avoir à côté de la lumière jaune des lampes à incandescence la lumière blanche des lampes à arc.

A la dernière exposition de Paris, les 50.000 bougies de la lumière Bremer sur la Tour Eiffel attirèrent l'attention générale. Le grand public voyait pour la première fois une lumière à arc de coloration jaune d'or, d'éclat et d'intensité inaccoutumés. De ce temps, date l'application de la lumière d'arc à flammes.

Les brevets les plus importants de Bremer sont B. S. G. D. G. 259571, D. R. P. 66094, 69271, 75520, etc. etc, toute une série importante. Le fond de cette invention est l'incorporation aux charbons de 4% au moins de fluor sous forme de ses différents sels. Le professeur Wedding, de l'École technique de Berlin, a publié en juillet 1900 et en 1902, p. 702 dans l' « Elektrotechnische Zeitschrift » les résultats obtenus avec ces électrodes.

Il constate que la lampe Bremer pour courant continu donnait, avec les charbons Bremer, trois fois autant de lumière que les lampes et les charbons ordinaires ; pour le courant alternatif, le résultat était inférieur; néanmoins il obtint avec les lampes Bremer une lumière valant deux fois celle des lampes et des charbons qui étaient en usage jusqu'alors.

Mais ce grand avantage incontestable, était entouré de beaucoup d'inconvénients. La lumière était instable ; on ne pouvait prendre que des charbons de petits diamètres et, par suite, la durée de combustion était moindre ; par la décomposition de l'air, il se formait des

produits nitrés qui détérioraient les parties métalliques des lampes et les scories empêchaient la marche régulière des lampes, qui souvent ne fonctionnaient point.

La société Bremer a fait de son mieux pour remédier à tous ces défauts ; elle y a réussi, en partie du moins. Dans tous les cas, l'industrie et la science doivent lui être reconnaissantes pour les indications données, car la faveur de cette nouvelle lumière colorée de grande intensité d'une part, les désavantages détaillés plus haut, d'autre part, ont donné l'impulsion à toute une série d'études qui ont abouti à d'heureux résultats.

On est arrivé aux rendements des charbons Bremer, tout en évitant le plus grand nombre des inconvénients décrits.

J. F. Sanders U. St. P. 649.551 incorpore aux charbons les oxydes ou les phosphates de Cu ou de Mg et compose la mèche avec du carbone et des phosphates alcalins solubles. Il entoure parfois les charbons ainsi préparés d'une couche de Mg. métallique.

Ce procédé n'a pas été adopté dans la pratique.

Les brevets de Mac Maruss U. S. P. 504.815 (charbon avec fer, mèche de chaux), de Roberts U. S. P. 562.030 (mèche carbone avec du chromate de potasse), n'ont eu aucun succès.

Le procédé de E. Sander D. R. P. 137.576 vaut mieux. Il consiste à fondre les oxydes des alcalis terreux ou des terres rares (MgO, ThO^2, ZrO^2), avec les oxydes ou les sels du groupe du fer, soit dans le four électrique, soit dans d'autres fours capables de fournir assez de chaleur pour amener la fusion de ces oxydes. La société « Elektrodon » à Berlin, qui exploite ces brevets, utilise les corps obtenus par fusion, de composition variable, pour les incorporer aux charbons et pour les ajouter au carbone de la mèche.

Les électrodes ainsi préparées donnent une belle flamme jaune d'or; les scories qui se forment — smalts provenant du Cr — sont un obstacle sérieux à l'emploi général.

A. Edelmann, Charlottenburg préconise l'incorporation du Boronat rocalcit (nom minéral Tica) et de la chaux sodée aux charbons, qui « exercent une influence favorable sur la formation des scories ». Nous ne croyons pas que la fabrication industrielle de ces électrodes ait quelque importance.

La fabrique de charbons à Liège a acquis les brevets de Hopfeld: H. recommande l'incorporation des carbures. La sensibilité envers l'humidité, la teneur en impuretés, provenant du carbure industriel, caractérisent ces électrodes.

Tous ces brevets ont un point de départ commun:

L'addition de corps dont le point d'évaporation est très élevé de manière qu'il n'y ait dégagement de vapeurs (par suite flamme) qu'à la température de l'arc même.

La constatation de ce fait suffit pour déterminer le nombre des corps à choisir, des inventions à faire, des brevets possibles.

Pour les fabricants de charbons à lumière, il était évident qu'on devait obtenir l'effet des charbons Bremer en ajoutant à la mèche seule les ingrédients incorporés par cet inventeur aux charbons mêmes.

Les laboratoires des usines de charbons à lumière étudiaient vers 1900 cette question et peu de temps après presque tous ces établissements livraient des charbons à flamme, au moyen desquels on arrivait au même rendement de lumière, à la même coloration, etc. Comme on n'emploie que beaucoup moins de sels (4-5 °/₀ du poids des électrodes) la lumière est plus stable, la durée de combustion est plus longue et les charbons reviennent moins cher.

Les mèches des charbons jusqu'alors en usage contenaient:

10 à 15 % de silicate de potasse

90 à 85 % de carbone (soit de noir de fumée, soit des déchets des électrodes mêmes, soit enfin une combinaison de ces deux produits).

Pour les charbons des lampes à arc flamme, on remplaçait une partie (la moitié environ) du carbone de la mèche par des fluorures.

Analyse des mèches de ces charbons:

	LUMIÈRE JAUNE	LUMIÈRE BLANCHE-GRISE	LUMIÈRE BLANCHE-BLEUE
C	45 à 50 %	44 %	49 %
Silicate de potasse	8,6 à 6,4	7,1	9,4
Sels	CaF^2 46,5 à 42,8	BaF^2 47	Ca^2O^3 42,1
Impuretés	0,9 à 0,8	0,8	—

La construction des lampes a été modifiée de diverses façons; on plaçait les électrodes parallèlement ou inclinées sous des angles de 5 à 50 degrés. On a repris l'ancienne idée de Jehl-Hardtmuth, d'employer des protecteurs pour retenir la chaleur, afin de prolonger la durée des charbons (douille protectrice en matière réfractaire, manchon protecteur en stéatite).

On a varié la section des charbons ; toute forme possible fut étudiée et parfois brevetée.

Le nombre et l'emplacement des canaux pour la mèche fut étudié et expérimenté ; la pratique a consacré la forme en usage depuis longtemps.

Ces recherches n'ont atteint aucun perfectionnement.

Le laboratoire de la maison Schiff et C° à Schwechat près Vienne a constaté les résultats suivants:

a) Coloration de la flamme de l'arc par les éléments suivants ajoutés en poudre soit au corps des électrodes, soit à la mèche seule:

Mg	rouge-violet, lumière instable, changement de couleur.
Al	vert-terne, sans éclat,
Zn	blanc,
Cu	bleu-terne,
Fe	violet-rougeâtre
Si	de même.

L'arc devenait par ces additions (les autres conditions, voltage, ampère restant fixes), un peu plus grand que celui des charbons ordinaires.

b) Les oxydes donnent en général la même coloration que leurs éléments:

BaO	bleuâtre
SrO	rose
CaO	rouge
FeO	violet
MnO	verdâtre
LaO^2	blanc pur
DiO^2	de même, violet,
TiO^2	bleu-violet,
ThO^2	rougeâtre,
CeO^2	blanc-bleu.

Il est remarquable que les sous-oxydes donnent une coloration plus intense que les oxydes; FeO donne plus de violet que Fe^2O^3, MnO plus de vert que MnO^2.

L'arc obtenu avec toutes ces combinaisons de l'oxygène surpasse de peu seulement l'arc ordinaire. — Seul l'oxyde de Ce donne une flamme étendue comme les charbons Bremer.

c) Les chlorures, bromures, iodures, les nitrates, citrates, etc. donnent presque toujours la même coloration que les fluorures qui seuls sont d'une grande application industrielle.

Les autres sels décomposent le silicate de potasse; on a bien essayé de se servir des solutions concentrées de sucre, de goudron ou de $MgOCl^2$, même de $ZnCl^2$ comme agglomérant, mais toujours avec des résultats négatifs.

Les fluorures insolubles dans l'eau sont sans réaction sur le silicate de potasse. Toutefois on doit s'assurer que les matériaux dont on se sert sont exempts de fluor libre et de HF.

Colorations obtenues par les fluorures :

NaF	jaune-terne sans éclat, flamme mince,
KF	violet, du reste comme pour NaF
LiF	Rose, plus faible comme de SrF^2
CeF^4	blanc-teint bleu, grand éclat, coloration et effet identiques avec ceux de CeO^2
CaF^2	jaune, la lumière égale en tous points à l'effet des charbons Bremer. La nuance dépend de la pureté du CaF^2; une teneur en Fe occasionne une teinte rouge-jaune.
BaF^2	blanc impur, de temps à autre bleuâtre, difficile à obtenir une flamme stable.
SrF^2	rose
NiF^2	
FeF^2	
CuF^3	violet, point d'éclat.
ZnF^2	
CdF^2	jaunâtre, terne,
SbF^3	jaune-foncé, terne,
BiF^3	jaune-clair, terne,
UF^6	blanc, point intense.
M^2F^6	blanc vert-terne,
TiF^4	jaune-gris, terne.

Les expériences ont prouvé qu'on ne peut obtenir une lumière blanche en munissant la mèche de deux ou plusieurs sels, car ces mélanges ne donnent point la couleur complémentaire ; on constate bientôt la teinte des divers composants. Pour cette raison, il n'y a guère d'application des brevets pris pour exploiter cette idée.

On n'a pas encore surmonté la difficulté de préparer une mèche donnant un arc-flamme blanc-pur de grande intensité comme on a réussi pour le jaune. La Allg. El. Ges. veut faire breveter l'emploi simultané de deux électrodes dont chacun donne une nuance différente. Elle prétend pouvoir déterminer d'avance de cette manière, la nuance de l'arc à flamme à produire. Nous avons constaté que le phénomène de changement de couleur cité plus haut se produit aussi dans ce cas.

Les expériences avec les terres rares (lampes Nernst) n'ont également pas donné les résultats espérés.

U. S. P. 421.469 préconise l'emploi des minéraux de point de fusion élevé ; Cérite, Zircone, etc.

Siemens et Halske, D. R. P. 144463 proposent les nitrites des éléments rares, car ces

sels ont le pourcentage le plus élevé des métaux, sont très résistants à l'action des températures élevées et ne forment pas trop de scories.

Dans ce groupe de travail, le nombre des corps à employer et la possibilité des brevets à prendre est également infini ; le point d'évaporation des ingrédients seul est important, comme nous l'avons déjà expliqué.

Partant de l'idée que l'intensité de la lumière de l'arc croît avec la température, un certain nombre de brevets concernent l'addition de corps pouvant céder de l'oxygène.

Conradty recommande l'emploi de KnO^3, $KClO^3$, BaO^2, Na^2O^2.

Strauss fait passer de l'oxygène, comprimé dans un réservoir, par les canaux des charbons à mèche ou bien il ajoute du peroxyde de manganèse à la mèche ou encore il incorpore de l'Al métallique.

Les expériences ont démontré qu'on peut augmenter ainsi l'intensité de la lumière émise, mais la consommation des électrodes devient telle qu'elle rend impossible l'utilisation industrielle. L'avenir prouvera s'il y a possibilité d'employer ces charbons pour les phares, pour les projecteurs de marine et des théâtres, etc.

C'est un fait connu que chaque décharge électrique dans l'air est suivie de la formation d'oxygène actif; l'ozone entre en réaction avec le nitrogène de l'atmosphère et il y a formation des différents composés nitreux. L'exploitation industrielle de ce phénomène est en cours dans les établissements de Bradley et Lovegay au Niagara qui obtiennent un kilog d'acide nitrique pour 15 cheval-heures.

La même réaction se produit sur une petite échelle dans le ballon de chaque lampe à arc et la quantité de ces produits nitrés augmente avec l'étendue de l'arc.

Elle est donc considérable dans les lampes Bremer, dans les lampes à arc de flamme, dans les projecteurs. Il a été prouvé par M. le professeur Wedding que les fluorures de ces électrodes ne sont point décomposés et qu'il n'y a pas de traces de fluor libre, gaz très vénéneux dans l'air des ballons qui fonctionnent avec des charbons-électrodes contenant du fluor.

On a du reste prouvé (voir Eclairage Electrique 1903, p. 506, Bradley, El. World and Engineer 1902, p. 159) qu'on peut récupérer après combustion, au fond des ballons et des réflecteurs, le poids exact des fluorures ajoutés aux charbons.

Ces produits nitrés attaquent les parties métalliques des lampes.

Siemens Frères ont eu l'idée de neutraliser ces vapeurs par des alcalis (ammoniaque et ses sels) D. R. P. 137.507, 138.018, 138.019.

Mais il y a eu des exagérations dans ce sens. Aujourd'hui des milliers de lampes à flamme sont en service sans aucune précaution contre ces corps nitrés ; personne n'en souffre si l'espace offert n'est pas très petit ou très humide.

L'allégation de la fabrication des charbons d'une innocuité parfaite prouve l'ignorance seule de la formation des corps nitrés.

Les lampes à faibles ampères ont été construites pour lutter contre les lampes Nernst. La fabrication des électrodes de dimensions faibles (4. 5, 5. 8, 6 m/m) demande un outillage spécial mais elle n'a donné lieu à aucun progrès dans la fabrication des charbons mêmes.

On n'a pas tardé à tirer les dernières conséquences de ce fait connu, qu'on peut ajouter aux charbons des métaux ou des sels. La General Electric C°. de Schenectady a fait breveter :

1° des électrodes pour des lampes à arc, contenant du fer ou du titane.

2° des électrodes pour des lampes à arc, composées de 65 % de titane et de 35 % de fer au moins.

Le chimiste en chef de cette société, le Dr Steinmetz, a publié les résultats de ces travaux dans l'El. World & Engineer 1904 p. 974.

Il obtient ces électrodes en comprimant de la magnétite finement pulvérisée dans des tubes de fer qu'il soude dans l'arc. Il ajoute certains sels pour fixer l'arc et du titane pour augmenter le rendement lumineux.

Haerden (El. Anzeiger, 1904 p. 665) prétend que la durée de combustion de ces électrodes en magnétite est beaucoup plus grande que celle des charbons et que la lumière a une teinte blanche pure. Il dit qu'un certain nombre de ces électrodes sont en service dans plusieurs villes des Etat-Unis.

Les réactions qui se produisentdans l'arc à flamme ont de plus un intérêt scientifique. Il est avant tout remarquable que quelques sels colorent autrement l'arc et autrement la flamme du bec à gaz. C'est un fait reconnu que les vapeurs métalliques donnent à des températures élevées plus de raies dans le spectre et que les raies des températures plus élevées surpassent en intensité souvent les raies antérieures. De plus, il est à considérer que l'émission de lumière des lampes à arc-flamme est très compliquée, car on obtient les spectres à raies des vapeurs métalliques, le spectre continu des particules de charbon chauffé à blanc et les spectres des gaz de l'air ambiant.

Nous expliquons ce phénomène en pensant que quelques produits allongent l'arc, contrairement à d'autres, tandis que tous les deux le colorent :

La coloration de la flamme peut être occasionnée par des produits qui sont déjà sous forme de vapeurs, dont les molécules ne sont pas encore décomposées ou par des corps déjà réduits entièrement.

Dans le premier cas, on obtiendra un spectre continu; dans le deuxième cas, un spectre à lignes.

Comme les deux spectres sont en rapport générique et comme ce sont surtout les vapeurs métalliques qui donnent la coloration de la lumière, la couleur de la lumière émise par des corps comme par exemple SrO et SrF^2, BaO et BaF^2 peut devenir très semblable dans les deux cas, même si l'une de ces combinaisons est ionisée à l'exclusion de l'autre.

Voir à ce sujet P. Lenard : L'arc et le spectre des métaux, Annal. en 1903, page 636.

Arrhenius a dit il y a déjà quelques années (Wiedemann Annal en 1891, F. L. Tufts Jahrbuch. Radioaktivität 1904) qu'il est fort probable que quelques sels entrent en dissociation électrolytique dans la flamme du bec Bunsen, ce qui explique pourquoi la flamme devient bon conducteur de l'électricité et pourquoi la couleur de la flamme est indépendante du composant électro-négatif du sel.

Les sels des alcalis se décomposent entièrement dans le bec Bunsen ; les sels des terres alcalines ne sont pas décomposés entièrement, leurs spectres ressemblent aux spectres rubans.

Arrhenius dit que cette désagrégation a lieu à cause de la vapeur d'eau, ce qui ne peut avoir son importance dans l'arc de la flamme. Mais toutefois il est possible que, par l'influence de la température fort élevée seule des corps gazeux, une désagrégation électrolytique prenne place comme c'est le cas avec plusieurs fontes et quelques corps solides.

S'il y a dans l'arc à flamme un corps qui est ionisé à cette température, ces ions conduisent le courant électrique, la résistance dans l'air devient moindre et par conséquent l'arc devient plus long.

Si au contraire des corps arrivent à l'arc volatils sans qu'ils soient décomposés, c'est-à-dire ne s'ionisent pas, l'arc peut être coloré mais ne peut être allongé.

Le dernier phénomène se produit probablement avec quelques oxydes (BaO, CaO, TiO^2, SiO^2) tandis que les sels colorent et allongent l'arc.

Les bons résultats obtenus avec les fluorures s'expliquent par leur dissociation étendue (voir les travaux de V. Meyer sur ce point).

Nous avons déjà dit qu'il y a des traces de formation de produits nitreux dans l'arc ordinaire ; la production beaucoup plus importante de ces corps nitrés sous l'influence de l'arc à flamme est la preuve des réactions chimiques beaucoup plus intenses. Celles-ci ont peut-être lieu sous l'influence des ions du fluor: soit avec N soit avec O ; nous avons déjà mentionné qu'il n'y a pas de fluor libre dans l'air des lampes à arc flamme, mais d'autre part, les produits de la décomposition électrolytique des sels alcalins par le bec Bunsen ne sont pas non plus étudiés ; cette étude difficile est encore à faire. Les résultats contribueront sans doute au progrès de cette récente innovation de l'éclairage dont la dernière conséquence sera la solution tant souhaitée du problème : Lumière à arc sans consommation d'électrodes. Les travaux de Rasch et de Steinmetz forment la première étape d'une route qui est encore longue.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

La rigidité diélectrique des câbles. — **Kath.** — Electrotechnische Zeitschrift, 7 Juillet.

Tous ceux qui ont eu à essayer un grand nombre de câbles au point de vue de la tension qu'ils peuvent supporter avant d'être percés, ou tension de rupture, ont trouvé des résultats bizarres. Une expérience étonnante est par exemple la suivante : on fabrique un câble qui, d'après les essais, est percé à une tension de 10.000 volts puis on le coupe en morceaux de 1 mètre de longueur dont on cherche la tension de rupture. On trouve des chiffres variant de 10.000 à 100.000 volts, et sûrement en moyenne un multiple de la tension supposée. Comme on n'a pas amélioré le câble en le coupant en morceaux, il faut chercher à quoi répond la notion de tension de rupture, puisque, d'après l'expérience, on devrait supposer cette grandeur inversement proportionnelle à la longueur du câble, ou admettre une relation analogue.

Il n'est pas plus facile de déterminer suivant quelle loi la tension de rupture dépend de l'épaisseur de la couche d'isolant. Si l'on prend, pour simplifier, un câble simple, et qu'on l'isole une fois avec 1 ^{mm} et la seconde fois avec 2^{mm} d'épaisseur de papier entre le conducteur et l'enveloppe de plomb, et si l'on fait la mesure avec 1.000 volts dans le premier cas et 2.000 volts dans le second, on trouve que la couche isolante ne supporte pas les mêmes tensions dans les deux cas. Dans le premier câble, avec 1 millimètre d'isolant, ce millimètre supporte réellement 1.000 volts ; dans le second, le millimètre intérieur supporte plus de 1.000 volts et le millimètre extérieur moins de 1.000 volts. Si par exemple le potentiel de l'enveloppe est 0 et le potentiel du conducteur 2.000 volts, la ligne équi-potentielle de 1.000 volts n'est pas à mi-distance entre les deux, mais (fig. 1)

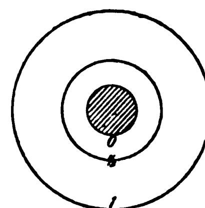


Fig. 1

plus rapprochée du conducteur. Par conséquent, lorsque dans un câble on double ou triple l'épaisseur de l'isolant, il ne faut pas augmenter proportionnellement la tension car sans cela les couches intérieures ne sont plus dans les mêmes conditions : la tension de rupture doit donc croître moins vite que l'épaisseur. Mais cette remarque n'est pas absolue. En effet, si nous munissons un conducteur de $1 mm^2$ et un conducteur de $1.000 mm^2$

****

d'une couche isolante de 2mm d'épaisseur, et que nous soumettions ces deux câbles à une différence de potentiel de 2.000 volts, la ligne équipotentielle de 1.000 volts sera fortement rapprochée du centre dans le premier et à peine dans le second. La tension de rupture devrait donc aussi dépendre du diamètre du câble.

Il existe, il est vrai, un guide simple à travers toutes ces difficultés : l'expérience. Mais comme des essais de rupture avec des câbles entiers sont toujours très onéreux, le nombre des observations ne peut pas être considérable ; en outre, il existe — surtout dans les essais de rupture — des fautes d'observation dont la grandeur est étonnante, de sorte que des observations faites en petit nombre ne servent presqu'à rien. Dans un grand nombre d'expériences que l'auteur a faites sur un câble court, toujours de même longueur mais portant des isolements de différentes épaisseurs, la tension de rupture a été trouvée à peu près proportionnelle à l'épaisseur (un peu plus forte pour de faibles épaisseurs). La loi de Baur avec la puissance 2/3 de l'épaisseur, n'a donné aucune proportionnalité entre l'épaisseur et la tension de rupture.

Il est facile de comprendre pourquoi ces résultats sont différents, si l'on remarque que Baur s'est servi, pour les tensions de 1 à 4.000 volts, d'une très petite longueur de câble, pour les tensions de 3.000 à 7.000 volts de tronçons d'une dizaine de mètres et, pour les tensions plus élevées, de longueurs d'une cinquantaine de mètres. Si l'on se reporte à ce qui a été dit au début, on voit que Baur a dû trouver des valeurs trop fortes pour les petites longueurs de câbles, et trop faibles pour les longueurs plus grandes.

Les lois de la tension de rupture des câbles en sont donc à un point, fréquemment rencontré dans les phénomènes nouveaux de la physique, où les différentes observations semblent discordantes parce qu'il manque une théorie propre à les expliquer. C'est cette théorie que nous allons essayer d'établir.

LA PRATIQUE DE L'ISOLEMENT

L'isolant qui se prête le mieux à l'étude de la tension de rupture est le papier. D'ailleurs, depuis quelques années, c'est la substance la plus employée dans la fabrication des câbles et c'est elle qui permet le plus facilement l'analyse mathématique. Il est facile ensuite de passer des lois trouvées pour le papier aux lois auxquelles obéissent les autres matières isolantes. Généralement les câbles au papier sont séchés, puis imprégnés, avant d'être entourés de plomb, sauf pour les usages téléphoniques où la capacité doit être aussi faible que possible. En imprégnant le câble on double ou triple la rigidité diélectrique, mais la capacité devient 2 à 2,5 fois ce qu'elle était primitivement, et l'isolement tombe à une fraction (1/0 par exemple) de la valeur qu'il avait pour du papier sec.

On a établi pour les valeurs relatives des isolants un certain nombre de tableaux que l'on trouve dans tous les traités et dont voici un résumé :

NATURE	CONSTANTE DIÉLECTRIQUE	ISOLEMENT EN MILLION DE MÉGOHMS CENTIMÈTRES	TENSION DE RUPTURE EN VOLTS PAR MILLIMÈTRE
Air	2	Très variable suivant la tension	850 à 2,000
Résine	2.6	10^6 à 10^8	liquide 14,000
Huile de résine	2,4	environ 10^6	2,000 à 10,000
Huile de thérébentine	2,23	10^{12}	9,400
Paraffine	2,26	$10^{7,5}$ à 10^8	5,600 à 10,000
Huile minérale lourde	2,1	environ 10^6	2,000 à 9,000
— — légère	2,06	— 10^{12}	10,500
— de ricin	4,6 à 4,9	— 10^6	2,500 à 5,000
— de colza	3	— 10^6	2,500
Papier mi-sec	1,8 environ	— 10000	1,000 à 2,000
Papier : huile de résine	2,4	3.000	—
Papier : 1 résine + 3 huile de résine	2,7	2,400	—
Jute : 2 résine + 3 huile de résine.	2,75	2,400	—
Jute imprégné	2,8 à 17 (?)	2,000 à 4,000	—
Coton : 2 résine + huile de résine.	3,4	7,000	—

Il faut remarquer que les chiffres donnés dans ce tableau proviennent d'observateurs différents et ont été obtenus avec des appareils différents et sur des substances douées de propriétés plus ou moins bien déterminées. A l'heure actuelle, où nous savons que la forme de la courbe de la tension de rupture joue un rôle prépondérant, nous ne devons admettre ces chiffres qu'avec une certaine défiance puisqu'ils ont été déterminés avec l'aide de bobines d'induction. Les constantes diélectriques sont relativement exactes. En ce qui concerne les isolements, les 4 derniers seuls ont

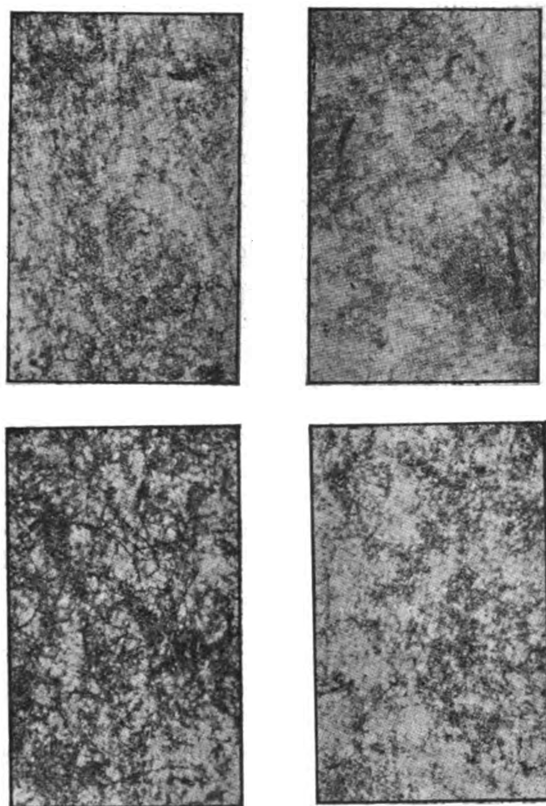


Fig. 2

été mesurés sur des câbles réels. On peut indiquer seulement leur ordre de grandeur et la comparaison faite avec les derniers chiffres « *pratiques* » montre que, dans un câble, on n'obtient guère que le 1/1000e de l'isolement relatif à la matière employée. On peut supposer, comme explication que les matières visqueuses contenues dans les fibres de plantes et qui, lorsque la fibre est sèche, ont un haut pouvoir isolant, se dissolvent dans la matière imprégnante et se comportent alors comme des électrolytes.

Si l'on examine attentivement les chiffres qui précèdent, on n'est pas tenté d'essayer de bâtir sur ces « *constantes* » des matières imprégnantes, une théorie de la tension de rupture. L'unique conclusion qu'un fabricant puisse en tirer, c'est que l'on peut atteindre 3000 à 6000 volts par millimètre d'isolant et peut-être 9000 volts dans des cas extraordinaires.

Une seule chose est certaine : mieux on peut imprégner le papier, et meilleur est le câble au point de vue de la rigidité diélectrique.

On imprègne donc toujours le câble avec une matière aussi liquide que possible et l'on évite les corps solides. Quelque séduisant que cela puisse être, par exemple, de fabriquer un câble avec de la résine qui est très isolante, très rigide au point de vue diélectrique, et très peu coûteuse, ce câble serait inutilisable à cause de sa fragilité, et à cause de la température élevée de fusion de la résine, qui carboniserait en partie le papier s'il n'y avait pas un grand nombre de places non imprégnées.

Ces faits sont bien connus aujourd'hui : les acheteurs n'exigent plus des tensions de rupture trop élevées qui forcent les fabricants à employer trop de résine et à carboniser le papier, et ces derniers peuvent employer une composition suffisamment liquide.

En admettant que, dans toutes les fabriques, la composition avec laquelle on imprègne soit préparée en grandes quantités et mélangée avec soin, et qu'elle soit disposée d'une façon uniforme, il faut trouver une explication des grands écarts que présentent les différents câbles au point de vue de la tension de rupture. Ces écarts sont dûs évidemment au papier.

Ce dernier est fabriqué avec des fibres de plantes ; à cause de la vitesse à laquelle tournent les machines servant à la fabrication des câbles, il faut que ce papier ait une grande solidité et que, par suite, les fibres soient longues. En regardant le papier par transparence, on remarquera une sorte de feutrage que représentent les photographies de la fig. 2. Il est évident qu'aux endroits où il y a une tache ou une accumulation de fibres, la tension de rupture n'est pas la même qu'aux points où il y a des tissus que remplit la matière imprégnante. La valeur de la tension de rupture est donc déterminée tout à fait par le hasard, suivant qu'il y a un plus ou moins grand nombre de « *taches* » dans l'épaisseur de l'isolant.

Considérations théoriques.

On voit au premier abord qu'il est impossible de trouver une expression mathématique pour la répartition des fibres dans le papier. Mais, en se contentant d'une approximation, suffisante pour la pratique, on peut se figurer le papier divisé en très petits carrés (par exemple de 0,2 mm. de côté) et considérer le nombre de fibres ou degré de remplissage de chacun de ces carrés. En portant en ordonnées le nombre des carrés dont le degré de remplissage est 1/10, 2/10... etc. et en abscisses ce degré de remplissage, on obtient une courbe celle comme de la fig. 3.

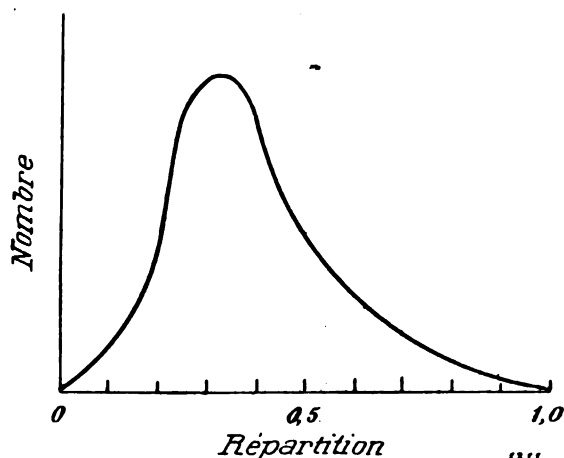


Fig. 3

La plus grande partie des carrés donne par exemple un remplissage moyen de 30 à 40 % : un très petit nombre d'entre eux ne contient aucune fibre, et un très petit nombre ne présente que des fibres sans trous.

On pourrait sans difficulté établir les calculs en partant de cette répartition, mais il vaut mieux simplifier et supposer qu'il n'existe que deux cas : ou bien il n'y a aucune fibre dans le carré, ce sont les trous ; ou bien il n'y a que des places obscures. On peut alors poser très simplement que 1-δ parties sont absolument dépourvues de fibres et que δ parties sont entièrement constituées par des fibres et ne laissent pas pénétrer d'imprégnant : les chiffres que l'on obtiendra ainsi ne seront pas exacts mais donneront une image nette des choses.

Au point de vue de la tension de rupture, on peut faire par exemple l'hypothèse suivante : δ parties (où se trouvent les fibres) sont percées à 1000 volts et 1-δ parties (les trous) à 3000 volts (tension de rupture de la matière imprégnante pure). Pour simplifier encore, il est plausible d'admettre que les δ parties ne peuvent supporter aucune tension, et que les autres parties supportent la tension V. Au point de vue physique cela ne change rien d'essentiel car, au lieu des chiffres de 1000 et 3000 volts admis dans l'exemple précédent, on peut aussi bien supposer une tension fixe moyenne de 1000 volts en tous les points et distinguer :

a les « trous » bien imprégnés qui tiennent 2000 volts.

b les défauts qui tiennent 0 volt,

puis, pour l'exactitude du calcul, une couche uniforme supplémentaire correspondant aux 1000 volts supplémentaires).

Nous ne voulons donner en ce moment que des éclaircissements généraux et nous sacrifierons l'exactitude pour plus de simplicité. Nous admettrons donc que le papier contient δ parties qui sont immédiatement percées, et 1-δ parties que perce une tension V, et nous allons examiner les différentes actions des couches extérieures et intérieures. Autour du conducteur il y a peu de papier et par conséquent moins de mauvaises places que dans les couches extérieures où il y a plus de papier. Il se produit deux actions dépendant de l'épaisseur de la couche isolante et qui se compensent. Considérons, non la tension elle-même, mais la différence de potentiel qui agit sur chaque couche ; celle-ci diminue lorsque le diamètre augmente, mais le nombre des défauts d'une couche augmente avec le diamètre : il en résulte que la tension de rupture est approximativement proportionnelle à la couche d'isolant, ce que confirment nos observations.

Notre nouveau point de vue permet aussi de déterminer à quelle valeur de tension de rupture il faut s'attendre. Prenons un exemple et supposons que dans un disque mince découpé normalement au conducteur, un tiers de la surface de papier soit entièrement rempli de fibres et ait par suite une tension de rupture nulle, et les deux autres tiers supportent la tension totale V. Admettons que ce câble porte 6 couches de papier et que nous fassions sur lui 1000 essais de rupture, et cherchons quelles valeurs nous devons obtenir. Il faut aussi bien considérer le cas où, dans les 6 couches, tous les défauts se superposent c'est-à-dire où la tension de rupture en ce point est nulle, que le cas où toutes les couches sont

exemptes de défauts et où la tension de rupture est 6 V. Entre les deux cas extrêmes se placent tous les autres cas pour lesquels on peut déterminer d'après le calcul des probabilités, le nombre de fois où ils se produisent.

La probabilité qu'en un point la 1re couche soit bonne est $^2/_3$: la probabilité que la seconde soit également bonne est $^2/_3 . ^2/_3$... etc. Si donc les 6 couches doivent êtres bonnes, c'est-à-dire si la tension de rupture est 6 V, la probabilité est $(^2/_3)^6$, et, pour 1000 essais $1000\ (^2/_3)^6$.

Parmi les autres cas possibles, prenons comme exemple celui où 4 couches sont bonnes et 2 mauvaises. Si nous cherchons les probabilités pour que les deux premières soient mauvaises et les 4 autres bonnes, nous trouvons $(^1/_3)^2 . (^2/_3)^4$ et, pour 1000 observations, $1000 . (^1/_3)^2 . (^2/_3)^4$. Mais le cas où 2 couches sont mauvaises et 4 bonnes, se produit aussi bien lorsque les couches 1 et 3, 1 et 4 2 et 3, 2 et 4 etc. sont mauvaises; il se produit donc $\frac{6.5}{1.2}$ fois, c'est-à-dire en tout dans $15 . 1000 . (^1/_3)^2 . (^2/_3)^4$ observations.

Comme on le reconnaît facilement, les termes de notre développement sont ceux du binôme.

$$1000\,(^1/_3 + {}^2/_3)^6 = 1000\left[(^2/_3)^6 + \frac{6}{1}(^2/_3)^5\,{}^1/_3 + \frac{6.5}{1.2}(^2/_3)^4(^1/_3)^2 + \ldots\right]$$

Ils donnent donc lieu à la série suivante d'observations :

La Tension	se produit		
6V	$1.1000 \cdot \frac{64}{729}$	=	88 fois
5V	$6.1000 \cdot \frac{32}{243} \cdot \frac{1}{3}$	=	264 fois
4V	$15.1000 \cdot \frac{16}{81} \cdot \frac{1}{9}$	=	330 fois
3V	$20.1000 \cdot \frac{8}{27} \cdot \frac{1}{27}$	=	219 fois
2V	$15.1000 \cdot \frac{4}{9} \cdot \frac{1}{81}$	=	82 fois
1V	$6.1000 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{243}$	=	16 fois
0	$1.1000 \cdot 1 \cdot \frac{1}{729}$	=	1 fois
	Total...		1.000

Nous voyons que, parmi les 1000 observations, le plus grand nombre donne des tensions de rupture élevées, mais que l'on doit s'attendre toutefois à trouver la valeur O. Pour un nombre plus faible d'observations, on ne rencontrerait pas cette valeur, de même que si les rapports des défauts et des parties bonnes étaient autres que $^1/_3$ et $^2/_3$, on ne trouverait peut-être pas une fois, pour un petit nombre d'observations, les valeurs maxima.

Pour obtenir la valeur moyenne, déduite du tableau ci-dessus, il faut additionner

$$\begin{aligned} 88 \times 6V &= 528V \\ 264 \times 5V &= 1320V \\ 330 \times 4V &= 1320V \\ 219 \times 3V &= 657V \\ 82 \times 2V &= 167V \\ 16 \times 1V &= 16V \\ 1 \times 0V &= 0V \end{aligned}$$

Soit

$$1000 \times \text{valeur moyenne} = 4005V$$

$$\text{Valeur moyenne} = \frac{4005}{1000}V.$$

Un calcul plus exact, avec un plus grand nombre d'observations, aurait conduit à trouver 4V comme valeur moyenne, soit $6V . ^2/_3$, comme le montre le calcul mathématique développé à la fin de cette étude.

Nous ne pouvons donc de cette façon (pour la détermination de la valeur moyenne) obtenir que le produit de la tension maxima par la répartition des défauts, qui ne varie pas si nous prenons un autre nombre de couches de papier. Pour déterminer les facteurs individuels, les valeurs moyennes observées ne suffisent donc pas. Une grandeur beaucoup plus importante est celle du « *défaut moyen* » que l'on forme en déterminant les écarts entre les différentes valeurs observées et leur valeur moyenne, en additionnant les carrés de ces écarts (parce que les uns sont positifs et les autres négatifs) et en extrayant la racine carrée de cette somme.

Dans notre cas nous avons:

Tension	écart de la moyenne	carré	nombre		total
6V	+2V	$4 V^2$ fois	88	=	$352 V^2$
5V	+1V	$1 V^2$ fois	264	=	$264 V^2$
4V	±0V	$0 V^2$ fois	330	=	$0 V^2$
3V	−1V	$1 V^2$ fois	219	=	$219 V^2$
2V	−2V	$4 V^2$ fois	82	=	$82 V^2$
1V	−3V	$9 V^2$ fois	16	=	$144 V^2$
0V	−4V	$16 V^2$ fois	1	=	$16 V^2$
			1000		$1323 V^2$

Le défaut moyen est donc :

$$\sqrt{\frac{1323}{1000}}\,V = 1{,}14\ V$$

Le calcul exact aurait donné :

$$\sqrt{6 . {}^2/_3\,{}^1/_3}\,V = 1{,}15\ V$$

Comme on le verra dans l'appendice mathématique, la loi générale est la suivante :

Si n est le nombre de couches de papier,
V la tension (maxima) d'une partie saine,
δ la grandeur des défauts,
$1-\delta$ — celle des parties saines,
la valeur moyenne est

$$n(1-\delta)V$$

et le défaut moyen

$$\sqrt{n\delta(1-\delta)}\,V$$

Comme n est connu dans chaque cas, il est facile de calculer V et δ.

— Ordre de grandeur des inégalités —

La théorie de la tension de rupture ainsi présentée s'appuie donc — et c'est là sa nouveauté — sur la considération des défauts d'observation. On s'est habitué jusqu'à présent à les considérer comme accessoires ou à les laisser de côté en partie ou en totalité.

Mais ceux qui ont fait un grand nombre d'essais de câbles sentent nettement que les défauts d'observation, par suite de leur fréquence et de leur grandeur, méritent plus d'attention qu'on ne leur en prête d'habitude en les considérant comme « écarts accidentels ». La façon dont on doit traiter théoriquement ces défauts est difficile à déterminer et exige une longue série de réflexions.

Il faut d'abord déterminer V et δ et, pour cela, nous prendrons les résultats d'expériences effectuées il y a quelques années dans un autre but. Comme ces expériences ne comportent que 8 observations, la détermination du défaut moyen n'est pas exacte, de même que, les chiffres trouvés pour δ et V se rapportant à du papier d'ancienne fabrication, il y a lieu de ne pas étendre les résultats trouvés aux papiers actuels. Néanmoins ces expériences donnent une idée nette de l'ordre de grandeur et de la modification de nos chiffres.

Dans chaque cas, nous avons soumis à l'épreuve des tronçons de 20^{cm} de longueur et fait, pour chaque nombre de couches de papier, 8 essais.

Le câble avait d'abord 40 couches de papier, puis en développant les couches extérieures, nous avons abaissé ce nombre à 35, 30... 10, 6, 3.

Les résultats furent les suivants :

	1re série d'observations		2e série d'observations	
Couches	Tension V	Défauts F	Tension V	Défauts F
3	1475	451	1148	309
6	1204	404	1162	322
10	1304	189	1169	264
15	1220	270	1253	253
20	1108	202	1207	353
25	1115	144	1029	55
30	1192	147	1066	104
35	1067	185	1063	35

Les tensions et défauts ont été calculés pour chaque couche ; nous devions nous attendre, pour les tensions, aux valeurs

$$\frac{n(1-\delta)V}{n} = (1-\delta)V$$

et, pour les défauts, aux valeurs

$$\sqrt{\frac{\delta(1-\delta)}{n}}$$

Il est évident que huit observations ne peuvent pas servir à établir une loi, mais malgré tout, ces chiffres montrent que :

1° la tension calculée pour une couche varie très peu avec l'épaisseur ;

2° les défauts varient d'une façon inversement proportionnelle au nombre des couches, probablement de la forme

$$\sqrt{\frac{\delta(1-\delta)}{n}}.$$

Pour obtenir l'ordre de grandeur des valeurs δ et V, faisons le calcul de ces chiffres pour chaque observation.

Nombre de couches	δ		V	
	I	II	I	II
3	0,20	0,18	1800	1400
6	0,40	0,32	2000	1700
10	0,17	0,34	1600	1800
15	0,42	0,38	2100	2000
20	0,40	0,63	1800	3200
25	0,29	0,07	1600	1100
30	0,31	0,22	1700	1400
35	0,51	0,04	2200	1100

Nous pouvons donc admettre, pour la tension de rupture maxima d'une couche de papier, la valeur 1800 volts environ et, pour δ, la valeur 0,3, c'est-à-dire supposer que 0,3 de la surface totale du papier n'est pas imprégnée. C'est évidemment un chiffre trop élevé mais il nous sert comme ordre de grandeur. Comme nous allons le voir, la

raison en est que les tronçons soumis à l'expérience n'étaient pas des disques infiniment minces mais étaient, malgré leur courte longueur, de véritables câbles.

Application à des câbles.

Un câble à basse tension est isolé avec 10 couches de papier. Pour choisir un cas déterminé, nous allons appliquer à ce câble les calculs précédents et tirer les différentes valeurs des tensions de rupture (pour $V = 1800, \delta = 0,3$) du développement :

$$(0,7+0,3)^{10} = 0,7^{10} + 10.07^{9}.03^{1} + \frac{10.9}{1.2}\,0,7^{8}.0,3^{2} + \ldots$$

Si l'on suppose 10.000 essais, on trouve les résultats suivants :

Tension en volts	Nombre d'observations	Total
18000	283	283
16200	1211	1494
14400	2335	3829
12600	2668	6497
10800	2001	8498
9000	1029	9527
7200	368	9895
5400	96	9985
3600	14	9999
1800	1	10 000
0	0	

Les 10 000 essais doivent être supposés faits, comme ceux de l'expérience précédente (dont on a déduit les chiffres 1800 et 0,3), sur des tronçons de 0, 20 cm. de longueur. Chaque millier d'essais représente une longueur de câble de 200 mètres (" *longueur de fabrication* ") et les 10 000 essais représentent 10 longueurs de câble. Mais au lieu de couper ces câbles en morceaux, on peut les essayer tels quels : on ne retrouve plus alors les valeurs élevées pour la tension de rupture et le câble est percé à la tension la plus faible à laquelle l'un quelconque des tronçons serait percé. La probabilité pour que le câble formé de 1000 tronçons soit percé seulement à 3600 volts ou plus, est $(0,99986)^{1000} = 0,87$;

à 5 400 volts et plus, $(0,9985)^{1000} = 0,23$;
à 7 200 volts et plus, $(0.9895)^{1000} = 0,000026$.

La tension de rupture moyenne d'une longueur de câble serait voisine de 5000 volts, alors que la tension de rupture moyenne du tronçon de 20 cm. que nous avons pris comme point de départ est $18000 \times 0,7 = 12600$ volts, et que des tronçons plus courts supporteraient des tensions encore plus élevées. Mais l'exemple montre en même temps que cette diminution de longueur n'augmenterait pas d'une façon très considérable la tension de rupture apparente, puisqu'elle double seulement environ lorsqu'on passe de la longueur 1000 à la longueur 1.

Ceux qui n'ont pas confiance dans le calcul des probabilités pourraient, en jetant un coup d'œil sur ce tableau, penser que, malgré tout, il serait possible d'obtenir un câble résistant à 18000 volts, puisque 1000 par exemple des tronçons qui, au nombre de 283 sur 10000 supportent 18000 volts, pourraient se trouver placés les uns à côté des autres et fournir ainsi une longueur de fabrication. Le calcul de ce cas aboutirait à des chiffres incompréhensibles, et nous nous bornerons à supposer qu'une longueur de câble ne doit être percée qu'à 9000 volts ou plus : nous trouvons qu'on dispose pour cela de 9527 tronçons de 20 cm. sur 10000. Pour que 1000 d'entre eux se trouvent jointifs et forment ainsi une longueur de câble, la probabilité est $0,9527^{1000}$, et ce chiffre est tellement petit que la longueur de fabrication cherchée ne se trouverait qu'une fois dans un câble allant de la terre jusqu'à Sirius.

Cet exemple montre combien extraordinairement rares sont les cas où une longueur de fabrication dépasse sensiblement la valeur moyenne.

La tension d'épreuve que l'on doit employer pour une épaisseur d'isolant donnée est très étroitement limitée par ces conditions et dépend absolument de la longueur. Comme nous l'avons dit à plusieurs reprises, les données numériques indiquent seulement l'ordre de grandeur, non seulement parce que les observations sur lesquelles reposent les chiffres sont inexactes, mais encore pour la raison suivante. Nous avons supposé que chaque tronçon a une seule tension de rupture, et nous avons considéré le câble comme formé de plusieurs tronçons dont le plus mauvais est percé le premier. Mais les tronçons de 20 cm. que nous avons pris pour base sont déjà des câbles ; il faudrait qu'ils soient assez courts pour qu'il n'existe qu'une seule tension de rupture sur toute leur longueur. Pour ne pas compliquer nos développements nous avons laissé de côté ce mode de calcul plus exact, mais il est facile de l'employer de même que d'intro-

duire la valeur exacte au lieu de la valeur zéro admise comme tension de rupture du papier sec.

Résumé

Tous les phénomènes de rupture des câbles sont donc ramenés à une seule source de défauts, l'irrégularité du papier. En outre, la théorie montre nettement que de courts tronçons de câbles ont beaucoup plus de rigidité que de longs tronçons : inversement il en résulte que dans le cas où un câble de grande longueur est percé, cela ne veut pas dire que toute sa fabrication soit mauvaise.

Comme la fabrication des câbles exige du papier à fibres longues et solides, le seul moyen pour assurer une bonne rigidité est de l'imprégner avec soin d'une matière bien liquide. Le traitement diminue la valeur de l'isolement et augmente la capacité, mais l'expérience a conduit depuis quelques années les praticiens à demander aux constructeurs des valeurs d'isolement assez faibles.

Les aperçus que nous avons développés pour un mode de fabrication peuvent être appliqués facilement à d'autres matières (jute, etc.) : il nous semble également que l'on doit pouvoir expliquer d'une façon analogue les gros défauts d'observation trouvés dans l'étude des matières liquides ou solides.

Pour l'essai des câbles livrés, cette théorie paraît importante. En effet, comme nous l'avons vu, on peut déduire la tension de rupture de grandes longueurs de câbles des observations faites sur de courts tronçons et cela offre deux avantages : en premier lieu on peut, par un grand nombre d'essais, obtenir des valeurs moyennes exactes, tandis que par suite des frais que cela entraîne, on ne peut faire que très peu d'expériences sur des longueurs de câbles ; en second lieu, tous les électriciens savent combien est dangereuse la rupture d'un câble de grande longueur, car par suite de cette rupture, il se produit une onde de surtension qui perce le câble en 10 ou 20 endroits et le rend inutilisable.

Cette théorie a naturellement besoin d'être complétée et étendue pour devenir d'une application réellement pratique.

Développements mathématiques

Après les exemples que nous avons donnés, les développements algébriques peuvent être très courts.

Soit V la tension que supporte une partie saine $(1-\delta)$ du papier, tandis que la partie δ est percée à 0 volt. Les différents termes du binôme :

$$[(1-\delta)+\delta]^n = (1-\delta)^n - \frac{n}{1}(1-\delta)^{n-1}\delta + \frac{n(n-1)}{1.2}(1-\delta)^{n-2}\delta^2 - \ldots\ldots + \delta^n(-1)^n$$

donnent la probabilité pour que l'on rencontre en un point du câble n parties saines, $n-1$ parties saines et un défaut..... etc., superposées dans les couches de papier.

Au lieu de :

$$\frac{n}{1},\ \frac{n(n-1)}{1.2}\ldots\ldots,$$

adoptons la notation :

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)}{(1)},\ \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)}{(2)}\ldots\ldots,$$

c'est-à-dire que, par exemple,

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{(4)}{(3)} = \genfrac{}{}{0pt}{}{4.3.2.}{1.2.3.}$$

Dans le calcul des termes pour les puissances $(1-\delta)^{n-\nu}$ il y a des termes :

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)}{(\nu)}\genfrac{}{}{0pt}{}{(n-\nu)}{(a-\nu)}$$

que l'on peut transformer :

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)}{(\nu)}\genfrac{}{}{0pt}{}{(n-\nu)}{(a-\nu)} = \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)}{(a)}\genfrac{}{}{0pt}{}{(a)}{(\nu)} \qquad (2)$$

on obtient alors le tableau suivant :

Tension observée	Probabilité de l'évènement
$(n)\,V$	$\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)}{(0)} - \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(1)}{(1)(0)}\delta + \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(2)}{(2)(0)}\delta^2 - \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(3)}{(3)(0)}\delta^3 + \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(4)}{(4)(4)}\delta^4 - \ldots\ldots$
$(n-1)\,V$	$+\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(1)}{(1)(1)}\delta - \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(2)}{(2)(1)}\delta^2 + \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(3)}{(3)(1)}\delta^3 - \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(4)}{(4)(1)}\delta^4 + \ldots\ldots$
$(n-2)\,V$	$+\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(2)}{(2)(2)}\delta^2 - \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(3)}{(3)(2)}\delta^3 + \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(4)}{(4)(2)}\delta^4 - \ldots\ldots$
$(n-3)\,V$	$+\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(3)}{(3)(3)}\delta^3 - \genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(4)}{(4)(3)}\delta^4 + \ldots\ldots$
....	$+\genfrac{}{}{0pt}{}{(n)(4)}{(4)(4)}\delta^4 - \ldots\ldots$
....	......

Les coefficients $\binom{1}{0}$, $\binom{2}{0}$ etc. ont été écrits simplement pour plus de clarté, car on a d'une façon générale $\binom{3}{0} = \binom{3}{3} = 1$.

La somme de tous les termes est 1, puisque c'est le développement de $[(1-\delta)+\delta]^n$. C'est donc le nombre total d'observations. Par suite les sommes verticales telles que

$$\binom{3}{0} - \binom{3}{1} + \binom{3}{2} - \binom{3}{3}$$

doivent s'accumuler, puisque chaque terme en δ doit disparaître.

Pour calculer la valeur moyenne il faut multiplier les différentes valeurs par le nombre de fois où elles se rencontrent et additionner ensuite; nous obtenons ainsi un terme : $n.x$ somme totale, et des termes de ce genre :

$$-\binom{n}{3}\delta^3 \left\{ \binom{3}{0} 0 - \binom{3}{1} 1 + \binom{3}{2} 2 - \binom{3}{3} \right\} V$$

Dans le calcul du carré du défaut il y a encore à faire des multiplications avec $1^2 2^2 3^2$ etc. : nous employons alors les formules auxiliaires suivantes :

$$\sum_a \sum_v (-1)^{a+v} \binom{n}{a} \delta^\alpha \binom{a}{v} = 1 \qquad (3)$$

$$\sum_a \sum_v (-1)^{a+v} \binom{n}{a} \delta^\alpha \binom{a}{v} v = \binom{n}{1} \delta \qquad (4)$$

$$\sum_a \sum_v (-1)^{a+v} \binom{n}{a} \delta^\alpha \binom{u}{v} v^2 = \binom{n}{1} \delta + 2 \binom{n}{2} \delta^2 \qquad (5)$$

V est le numéro de la rangée horizontale et a celui de la rangée verticale. La première de ces formules exprime le fait précédemment trouvé que la somme de tous les termes est égale à l'unité.

Les autres formules se déduisent de la première et de la relation connue :

$$\binom{a}{v} = \binom{a-1}{v-1} + \binom{a-1}{v}$$

Valeur moyenne. — Comme le nombre des observations est 1, il suffit de faire le produit des deux parties de la rangée horizontale et d'additionner. On tire alors les équations (3) et (4) :

$$nV \sum_a \sum_v (-1)^{a+v} \binom{n}{a} \delta^\alpha \binom{a}{v}$$
$$- V \sum_a \sum_v (-1)^{a+v} \binom{n}{a} \delta^\alpha \binom{a}{v} v = n(1-\delta)V$$

Défaut moyen. — De la valeur moyenne et des valeurs réelles d'observation, on déduit pour chaque rangée horizontale des défauts

$$n\delta V, \frac{(n\delta - 1)V}{(n\delta - 2)V} \cdots\cdots$$

Les carrés des défauts ont naturellement la forme :

$$(n^2\delta^2 - v_1 2n\delta - v^2)V^2$$

et, en multipliant chaque carré par la fréquence prise en additionnant, nous obtenons :

Somme des carrés des défauts = carré du défaut moyen =

$$= [n^2\delta^2 \text{ (somme 3)} - 2n\delta \text{ (somme 4)} + \text{(somme 5)}]\, V^2$$
$$= [n^2\delta^2 - 2n^2\delta^2 + n\delta + (n^2 - n)\delta^2]\, V^2$$
$$= n\delta(1-\delta)\, V^2$$

Le défaut moyen pour l'unité de la valeur moyenne est donc par exemple

$$\sqrt{\frac{\delta - 1}{\delta} \cdot \frac{1}{n}}$$

c'est-à-dire indépendant de V.

B. L.

***Les Condensateurs à haute tension* par J. Moscicki.**

(suite).

Expériences avec le courant alternatif à haute fréquence

Les remarquables résultats, dûs aux deux séries d'expériences qui viennent d'être décrites, demandaient cependant à être complétés: il restait en effet à étudier l'influence exercée sur la tension critique par la fréquence du courant employé.

On se servit pour ces recherches d'une génératrice unipolaire Thury à courants alternatifs donnant à raison de 3.000 tours par minute 10.000 périodes par seconde et reliée directement à un moteur unipolaire à courant continu du même système. L'enroulement induit de l'alternateur comportait deux circuits à bornes indépendantes qui donnaient, suivant qu'on les associait en série ou en quantité 8 ampères à 200 volts, ou 16 ampères à 100 volts ; l'excitation exigeait au plus 2 ampères sous 110 volts. Les tensions fournies par la génératrice étaient loin de répondre au but que nous nous proposions ; comme nous n'avions à notre disposition qu'un transformateur triphasé de 2 kw, construit par l'usine Alioth

à Münchenstein, près Bâle, nous modifiâmes ses enroulements de façon à convertir en monophasés les courants triphasés. Les rapports obtenus par la transformation étaient : 180 : 1200, 180 : 3600 et 180 : 10800.

La fréquence se déterminait à chaque expérience par la mesure au tachymètre du nombre de tours de la génératrice; le réglage en était effectué par le courant fourni au moteur, et, dans une certaine mesure, par le courant d'excitation de l'inducteur de la génératrice par l'intermédiaire de rhéostats métalliques.

A l'aide du voltmètre à fil de résistance de Hartmann et Braun, dont nous nous sommes servi pour les essais à la fréquence ordinaire de 50 périodes par seconde, on mesurait la tension dans le circuit primaire du transformateur et on la réglait au moyen du rhéostat à manettes de 7 ampères et 8 ohms construit par M. Paul Meyer à Berlin.

Ces expériences avaient pour but de déterminer la tension critique vers le bord de l'armature et, comme dans les études analogues relatives à la fréquence ordinaire, les tubes d'épreuve étaient reliés au circuit à haute tension du transformateur. Il s'agissait d'abord de faire tourner la génératrice à la vitesse demandée en maintenant constant son nombre de tours par un réglage convenable du courant fourni au moteur. Cette mesure était contrôlée au tachymètre. Après avoir introduit dans le circuit primaire toutes les résistances de réglage, on établissait le courant ; on procédait ensuite à la mesure de la tension et à la vérification du nombre de tours, puis le circuit était de nouveau ouvert. On diminuait insensiblement la valeur des résistances de réglage en répétant les mêmes opérations jusqu'à ce que le diélectrique soit perforé.

Les lectures à effectuer pour cette série d'expériences étaient fort compliquées en raison de la nécessité de contrôler simultanément la tension et le nombre de tours qui devait rester constant. Quatre essais seulement ont été faits avec le courant à haute fréquence, car on pouvait craindre de troubler le fonctionnement du transformateur réglé pour la fréquence ordinaire de 50 périodes par seconde. Cet inconvénient est dû à la puissance de perforation des courants alternatifs.

Essais avec le courant alternatif à haute fréquence

Table VII

Numéro de l'essai	Épaisseur de paroi en m/m	Tension critique au bord du diélectrique en m/m	Fréquence $\frac{200n}{60}$
N°	10δ	v	f
1	0,2	2520	8000
2	0,53	3600	9000
3	0,55	4800	8600
4	0,67	5520	8600

Table VIII

Épaisseur du verre	Tension critique	
10δ m/m	v à la fréquence ordinaire de 50 périodes par seconde	v à la fréquence de 8000-9000 périodes par seconde
0.2	6 400	2 520
0.53	12 150	3 600
0.55	12 380	4 800
0.67	13 600	5 520

Pour être complet nous mentionnerons encore les trois expériences suivantes.

a) Un tube du type de la fig. 6 était argenté extérieurement avec un grand soin, puis on rayait légèrement l'armature de façon à mettre le verre à nu. On plongeait ensuite ce tube dans une substance isolante en fusion formant une gaîne quand on l'en retirait. Sous l'action d'un courant d'une fréquence de 50 périodes par seconde, la tension critique atteignait seulement 8743 volts et l'on constatait la perforation dans les rayures où l'épaisseur du verre était de 0, 3 m/m.

b) Un tube identique dont l'armature d'argent n'avait pas été rayée ne fut perforé que sous la

tension de 24.270 volts dans la zone médiane où la paroi n'avait que 0, 175 m/m d'épaisseur.

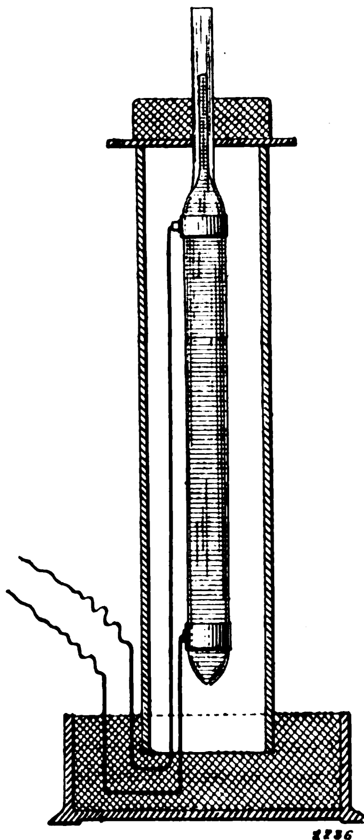


Fig. 6

c) Sur l'ampoule d'un tube non argenté, analogue à celui de la fig. 6 était fixée une gouttelette de substance isolante. Ce tube était immergé pendant l'expérience dans un électrolyte constituant l'armature extérieure. Il fut perforé sur le bord de la gouttelette, où le verre mesurait 0, 25 m/m, sous 7.000 volts.

CONCLUSIONS

On peut tirer les conclusions suivantes des expériences que nous venons de décrire :

1° La perforation doit être étudiée soit sur les bords, soit dans la zone médiane des armatures. On peut examiner ces deux cas indépendamment l'un de l'autre.

2° L'expérience a prouvé que la perforation se produit, aussi bien pour le verre que pour l'ébonite, à une tension beaucoup moins élevée sur les bords qu'au milieu des armatures, l'épaisseur de la lame isolante restant la même; mais pour que cette conclusion soit vérifiée, il faut que certaines conditions spéciales, telles que la conductance superficielle du diélectrique qui prolonge la surface conductrice au delà du bord de l'armature, soient soigneusement évitées. Le cas exceptionnel que nous venons de rappeler est celui du tube exposé à l'air ambiant, ainsi que nous l'avons vu dans l'introduction. En comparant d'une part les tables I et V relatives au verre, d'autre part les tables IV et VI concernant l'ébonite, on constate des résultats très différents suivant la zone où l'on étudie la perforation.

Ainsi :

le verre de 0,5m/m supporte { au bord..... 11.700 volts / à l'intérieur. 67.100 —

l'ébonite sous une épaisseur de { 0, 5m/m / 0,41m/m

supporte { au bord..... 9.640 volts / à l'intérieur. 44.600 —

3° Les chiffres fournis par les tables V et VI, établies pour la perforation dans la zone médiane des armatures, prouvent qu'il y a toujours proportionnalité entre la tension et l'épaisseur du diélectrique.

4° Quand la perforation se produit vers les bords, l'épaisseur de la lame isolante croît suivant une progression beaucoup plus rapide que celle de la tension critique ; il y a toujours proportionnalité entre le carré de cette tension et l'épaisseur du diélectrique ainsi que l'on peut s'en convaincre par l'examen du diagramme représenté par la fig. 5.

5° La tension critique est beaucoup moins élevée, aux hautes fréquences de 8000-9000 périodes par seconde (tables VII et VIII) qu'à la fréquence ordinaire de 50 périodes par seconde (table I), la qualité du verre restant la même.

Les résultats donnés sous les chiffres 1 et 2 s'expliquent par une condensation des lignes de force vers les bords, ce qui hâte la perforation. Les expériences spéciales mentionnées sous les lettres *a*, *e*, *t*, *c* confirment l'importance qu'il y a à bien délimiter l'armature. Il a été démontré en outre que l'on peut renforcer un diélectrique, sans augmenter beaucoup le risque de la perforation dans la zone où commence le revêtement, pourvu que l'on évite toutefois les arêtes vives qu'il est sus-

ceptible de produire si son épaisseur ne varie pas insensiblement le long du tube. Cette dernière condition exige une précision d'autant moins grande que l'épaisseur du diélectrique principal est plus forte dans la zone considérée et que le rapport des pouvoirs inducteurs spécifiques des deux diélectriques employés est plus faible.

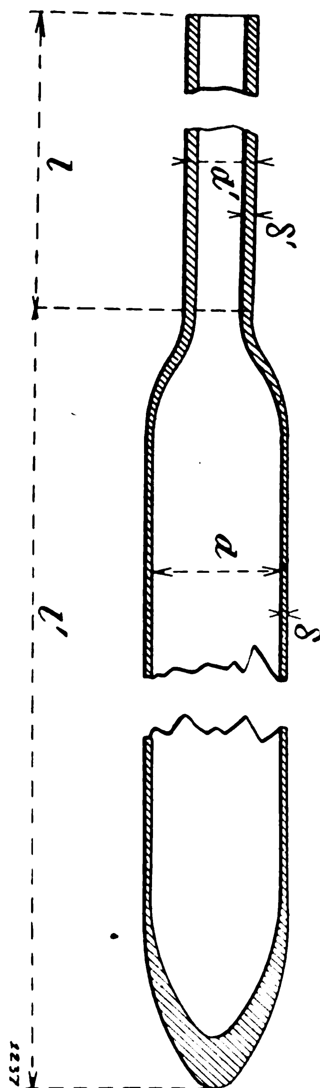


Fig. 7

Ces déductions découlent des expériences faites sur un tube de 0,3 $^{m}/_{m}$ d'épaisseur recouvert de feuilles de mica enroulées en spirale ; le même tube, renforcé d'un revêtement en matière isolante de pouvoir inducteur spécifique plus faible que celui du mica, n'obéissait pas à la loi énoncée plus haut. Pour empêcher la perforation des bords du diélectrique, inévitable aux tensions très hautes même avec des tubes de 3$^{m}/_{m}$ d'épaisseur, il suffisait d'adapter aux parois de verre un revêtement confectionné avec la substance isolante dont nous avons donné la composition (fig. 7).

Ces conclusions confirment celles de A. de Waltenhofen (1), Mach et Doubrava (2), qui avaient établi qu'un diélectrique peut être perforé plus facilement si l'on coule sur sa surface un disque en matière isolante et que la perforation se produit toujours au bord intérieur de ce disque, bien qu'il soit traversé en son milieu par des électrodes effilées au préalable.

L'explication de ce phénomène est aisée : la conductance superficielle des diélectriques dans l'air ambiant forme par elle-même une sorte d'armature nettement délimitée par le disque isolant. Kissling et Walter (3) ont procédé à une expérience analogue, mais le disque est remplacé par une gouttelette isolante au milieu de laquelle on a fait un petit trou à l'aide d'une aiguille, ce qui constitue un disque de dimension très réduite.

On a démontré d'autre part que les diélectriques solides sont perforés plus facilement quand ils sont immergés dans un bain d'huile; cet inconvénient tient sans doute à ce que cet isolant délimite très nettement le bord de l'armature.

Notre troisième conclusion permet de déterminer le coefficient d'un diélectrique, indépendamment de son épaisseur, dans des conditions exactement définies : en effet la perforation se produit dans un champ électrique uniforme où l'on peut supposer les lignes de force parallèles. Les résultats ne sont modifiés qu'avec la fréquence du courant et avec la forme qu'affecte la courbe de tension. La table V, colonne 4, montre que pour le verre ordinaire il y a perforation sous l'influence d'un courant alternatif presque sinusoïdal d'une fréquence de 50 périodes par seconde pour une différence de potentiel approximative de : 130. 10^4. Notre quatrième conclusion, à savoir que l'épaisseur du diélectrique croît en proportion plus forte que la tension critique correspondante au bord de l'armature, peut s'expliquer par le raisonnement suivant. Dans cette

(1) A. de Waltenhofen, Dinglers polytechn. Journal 179, p. 435, 1866.

(2) E. Mach et S. Doubrava, Comptes-rendus des séances de l'Académie impériale des Sciences de Vienne, II, p. 729, 1878. Annales de Wiedemann, 8, p. 462, 1879.

(3) Annales de Physique, Tome II, p. 570, 1903.

zone, le champ électrique n'est plus uniforme et les lignes de force peuvent être considérées comme infléchies, de sorte que les surfaces équipotentielles cessent d'être parallèles aux surfaces des armatures et tendent à se rapprocher des bords en augmentant de densité. En conséquence, si l'on admet un champ électrique uniforme vers le milieu de l'armature, quand on fait croître l'épaisseur du diélectrique et la tension dans la même proportion, on obtient des canaux de force identiques pour un courant de même puissance, ce qui n'est pas le cas pour les bords de l'armature où les surfaces de niveau se trouvent refoulées, parce que la différence de potentiel augmente dans cette zone. Enfin notre cinquième conclusion prouve que la perforation ne dépend pas uniquement de la différence de potentiel mais aussi de la rapidité avec laquelle se produit la polarisation diélectrique.

B. Des pertes diélectriques des condensateurs (1).

Les méthodes employées jusqu'ici pour la mesure des pertes des condensateurs donnaient des résultats très peu concordants, soit parce que les relations de ces pertes avec la tension et la fréquence du courant étaient peu connues, soit parce que leurs valeurs en 0/0 pour un même diélectrique n'étaient pas déterminées assez exactement. On peut en juger par les divergences que l'on rencontre dans les mémoires des physiciens ayant étudié ces questions. Ces contradictions tiennent non seulement aux méthodes employées, mais aussi aux systèmes de condensateurs dont on disposait.

En mesurant directement les pertes dues à la chaleur dégagée, à l'aide de piles thermo-électriques, on obtenait en se servant du courant continu (méthode indiquée par Kleiner (2) et Düggelin (3) des différences de température relativement faibles, ce qui nuisait à la précision. De plus les feuilles d'étain, constituant l'armature extérieure des condensateurs employés, n'empêchaient pas l'interposition de bulles d'air entre cette armature et le diélectrique. Enfin l'on n'obtenait que des résultats comparatifs qui ne permettaient pas de déduire la valeur absolue des pertes. Les mesures directes, effectuées à l'aide d'un wattmètre avec du courant alternatif, offrent des difficultés de lecture de la graduation surtout quand un voltage considérable nécessite l'emploi de résistances additionnelles, ce qui diminue la sensibilité de l'instrument. Un perfectionnement essentiel fut apporté à cette méthode par Heinke (1), puis par Rosa et Smith (2) qui montèrent une bobine d'induction en série avec le condensateur dans le but de provoquer une résonance dans le circuit ; par ce procédé, on obtint de grandes différences de potentiel aux bornes du condensateur, tandis que la génératrice ne livrait que du courant à basse tension. Cette dernière méthode présente toutefois l'inconvénient de déterminer les pertes du condensateur en les déduisant de celles que l'on constate dans la bobine et le condensateur réunis, puis dans la bobine seule : or la différence des deux valeurs ainsi obtenues étant peu appréciable, l'exactitude du résultat en est forcément diminuée. Steinmetz (3) a opéré d'une façon à peu près analogue, mais il a monté en parallèle la bobine et le condensateur ce qui ne diminue pas les causes d'erreur.

Un défaut inhérent à toutes les méthodes basées sur la résonance consistait en ce que la capacité des condensateurs employés étant parfois considérable, il était presque impossible, d'éliminer les pertes dues à la conductance superficielle des armatures, bien que les diélectriques choisis, en forme de plaques, fussent d'excellente qualité.

Les procédés suivants (4) qui reposent sur l'étude du mouvement de rotation des diélectriques cylindriques, ellipsoïdaux, etc.., placés dans des champs tournants électro-statiques, ou encore sur l'observation de l'amortissement de ce mouvement, donnent plutôt des pertes par conductance superficielle. C'est ainsi que l'on peut s'expliquer les résultats peu probants obtenus par Schaufelberger (pertes pour la paraffine 2,1 %, au delà de 60 % pour l'ébonite).

Les expériences relatives à la perforation des diélectriques m'ont permis de construire un système de condensateur avec lequel j'ai pu non seulement parer aux défectuosités des méthodes

(1) Cette étude a été présentée à l'Académie des Sciences de Cracovie (Bulletin de janvier 1904).
(2) Kleiner, Wiedem. Annalen 50, P. 138, 1893.
(3) R. Duggelin Bulletin trimestriel de la Société des sciences naturelles de Zurich, 40, p. 121, 1895. Supplément de la même publication, 20, p. 138, 1896.

(1) C. Heinke, Elektrotechnische Zeitschrift 18, p. 57, 1897.
(2) E. B. Rosa et A. W. Smith, Phil. Magazine, (5), 47, p. 19, 1899.
(3) C. P. Steinmetz, Elektrotechn. Zeitschrift 22, p. 605, 1901.
(4) Schaufelberger, Wiedem. Annalen 67, p. 307, 1897; 65, p. 635, 1898. R. Arno, Elektrotechn. Zeitschrift, 17. 1893.

de mesure usitées, mais encore en créer une nouvelle dont la précision est plus grande, puisqu'elle permet d'utiliser des différences de potentiel plus élevées et supprime certains effets accessoires qui ont une fâcheuse influence sur les mesures effectuées.

Si les chiffres obtenus n'ont pas toute l'exactitude désirable, les erreurs que l'on pourrait constater ne sauraient pour autant en être imputées à la méthode, dont la précision sera mise en évidence par une étude spéciale. Il s'agit simplement ici de fixer la valeur des pertes des condensateurs tubulaires en verre, afin de déterminer d'une manière générale leur importance en fonction de la tension et de la fréquence.

Nous signalerons en passant que notre nouvelle méthode n'est pas applicable à toutes les substances isolantes, en raison de difficultés techniques spéciales. Les observations que nous allons décrire se rapportent exclusivement au verre de Bohême qui sert à la fabrication des éprouvettes.

La partie expérimentale de ces recherches a été exécutée en collaboration de M. l'ingénieur M. Altenberg.

Description de notre système de condensateur et de notre méthode de mesure. — Le condensateur employé pour l'évaluation des pertes diélectriques était constitué par un tube de verre mince, dont le col rétréci était à parois plus épaisses et dont le fond était fermé. Une couche d'argent déposée par le procédé chimique de Böttger formait l'armature extérieure s'étendant jusque sur le prolongement à fortes parois et ne présentant qu'une résistance insignifiante après qu'elle avait été surchauffée. Quant à l'armature intérieure, elle était constituée par du mercure dans lequel plongeait un thermomètre destiné à mesurer l'élévation de température.

Le courant était amené à l'armature extérieure comme dans les essais précédents, c'est-à-dire par un fil de cuivre isolé soudé à une bague de même métal fixée sur une feuille d'étain, afin d'empêcher que l'armature fût endommagée. Un fil conducteur plongeant dans le mercure reliait l'armature intérieure à la source d'électricité. Pour rendre possibles les mesures faites avec le courant continu sur l'armature extérieure considérée comme résistance, on adaptait à l'extrémité inférieure du tube une seconde prise de courant absolument semblable à celle que nous avons décrite précédemment. La partie rétrécie du tube traversait vers son renflement, au bord de la couche d'argent, un disque d'isolite sur lequel on coulait un revêtement composé de la masse isolante dont nous avons parlé, soit un mélange de cire fossile, de colophane et de vaseline. On introduisait le condensateur ainsi équipé dans un récipient cylindrique de 50^{mm} de diamètre et de 400^{mm} de hauteur, dont le bord supérieur supportait le disque d'isolite et le tube qui y était suspendu, et dont le fond livrait passage aux deux prises de courant continu; le tout était placé ensuite dans un vase en verre ordinaire contenant une substance isolante en fusion.

Les essais portèrent sur trois condensateurs que nous désignerons simplement par les N^{os} I, II, III et dont les dimensions principales, exprimées en millimètres, étaient les suivantes.

	l	l'	d	d'	δ	δ'
	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
I	300	100	15	10	0,29	1,5
II	—	—	14,1	—	0,32	—
III	—	—	17	—	0,48	—

L'épaisseur d est la moyenne obtenue en effectuant des mesures en diverses régions du tube. L'échauffement du condensateur, après le passage du courant alternatif, se déterminait par deux lectures faites au thermomètre immergé dans le mercure; l'une était obtenue quand les températures du mercure et du local étaient sensiblement les mêmes, l'autre était faite quand le circuit avait été fermé durant trois à cinq minutes, suivant la chaleur dégagée, car le thermomètre était gradué jusqu'à 22° C. On peut admettre sans erreur appréciable que la chaleur produite était absorbée en totalité par le mercure, surtout si l'on tient compte de la courte durée de l'opération et de la faible élévation de température observée. Pour évaluer l'énergie équivalente à la chaleur dégagée, on introduisait l'armature extérieure, considérée comme résistance, dans un circuit parcouru par un courant continu dont l'intensité et la chute de tension étaient connues. Deux lectures analogues, effectuées au même thermomètre donnaient avec une précision plus grande encore l'énergie correspondant à l'échauffement constaté, par suite les pertes cherchées elles-mêmes.

Les deux mesures dont nous venons de parler présentent entre elles la différence essentielle suivante : dans le premier cas, la chaleur émanée de l'intérieur du verre se communique au mercure

par rayonnement, ce qui permet de conclure que la source calorifique se trouve dans le diélectrique; dans le second cas, au contraire, la chaleur prend naissance sur la surface extérieure du verre d'où elle doit rayonner vers l'intérieur.

En admettant qu'il y ait dans les deux cas production d'une même quantité de chaleur pour des temps égaux, l'élévation de température sur l'armature extérieure comporte chaque fois des valeurs différentes, ce qui porte à croire que le rayonnement de la chaleur dans l'air ambiant dépend de l'expérience considérée. On en conclut que l'énergie consommée par la couche d'argent est plus considérable pour le courant continu que pour le courant alternatif.

Il suffit de calculer la chaleur transmise au mercure à travers la demi-épaisseur du verre pour évaluer la température dans les deux cas. Supposons que le mercure reçoive 0,24 petite calorie par seconde ; pour une demi-épaisseur de verre de 0,015 cm, une section conductrice de 120 cm_2, une conductibilité de 0,0007 petite calorie (section conductrice 1cm_2, épaisseur de paroi 1cm, différence de température de 1° C, l'écart des deux différences de température du mercure et de la surface extérieure du tube sera :

$$\lambda = \frac{0,24.0.015}{0,0007.120} = 0,043^{\circ} C.$$

Si la durée de l'expérience est de cinq minutes la température ne s'élève que de 2°. 2 C. dans le mercure : les erreurs de mesure n'ont donc pas une influence appréciable.

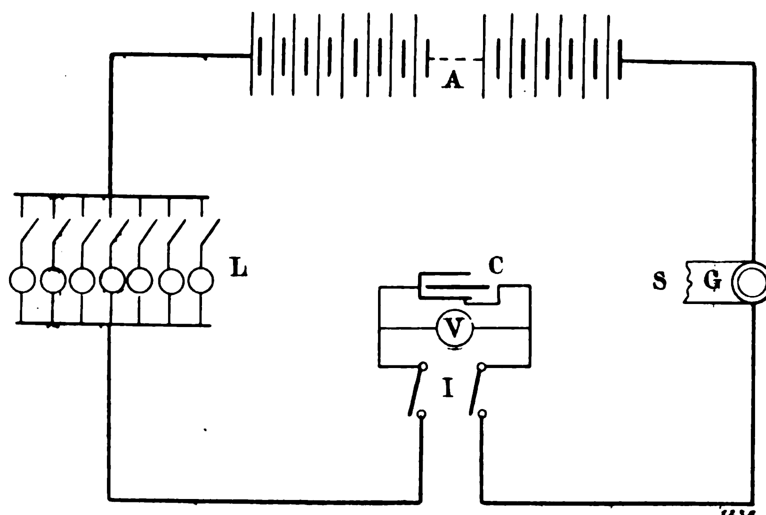


Fig. 8

Pour les observations faites avec le courant continu, le circuit était disposé comme le montre la fig. 8. Un courant de 110 volts, fourni par une batterie d'accumulateurs, traversait un rhéostat à lampes L, un galvanomètre universel Siemens et Halske G, puis était amené à un interrupteur bipolaire I réuni à l'armature extérieure du condensateur C et à un voltmètre de Weston V. La fig. 9 indique la disposition adoptée pour le courant alternatif ordinaire de 50 périodes par seconde ; un courant de 160 volts passe successivement par un interrupteur bipolaire, un rhéostat de 6Ω à 6 touches, une série de résistances additionnelles comprenant des unités de 8Ω et de 16Ω, enfin un rhéostat à l'interrupteur de réglage de 8Ω système Paul Meyer, permettant de régler la résistance de telle sorte que la tension conserve une valeur constante. Le courant était ramené de ce dernier rhéostat à l'interrupteur par l'intermédiaire de l'enroulement primaire du transformateur relié en dérivation avec un voltmètre Hartmann et Braun.

L'enroulement à haute tension du transformateur était groupé en série avec un milli-ampèremètre Siemens et Halske et le condensateur mis à l'épreuve. Deux opérateurs faisaient simultanément les lectures : l'un notait la tension qu'il maintenait constante à l'aide d'un rhéostat à résistance variable, l'autre relevait les indications du thermomètre et du milli-ampèremètre.

Pendant les expériences effectuées soit avec le courant continu, soit avec le courant alternatif, le condensateur était placé dans un vase en grès

de 1,m00 de diamètre et 0,m60 de hauteur tant pour l'isoler de la terre que pour le protéger des vibrations de l'air ambiant. Ceci dit, nous pouvons établir la supériorité de notre méthode sur les précédentes : elle permet d'abord d'obtenir des différences de potentiel considérables entre les armatures. En effet nous avons atteint avec notre condensateur N° I une différence de potentiel de : $\frac{v}{\delta} = 380000$ (v étant la tension, δ l'épaisseur du diélectrique exprimée en cm) ; en renforçant convenablement les bords de la lame isolante elle devenait : $\frac{v}{\delta} = 1300000$ (1). Or la valeur maxima observée jusqu'ici avec du courant continu comportait selon Hoor (2): $\frac{v}{\delta} = 100000$.

Un avantage très réel de notre méthode est sa précision car les différences de température observées sont assez considérables pour être appréciées non seulement avec la plus grande commodité, mais aussi avec toute l'exactitude

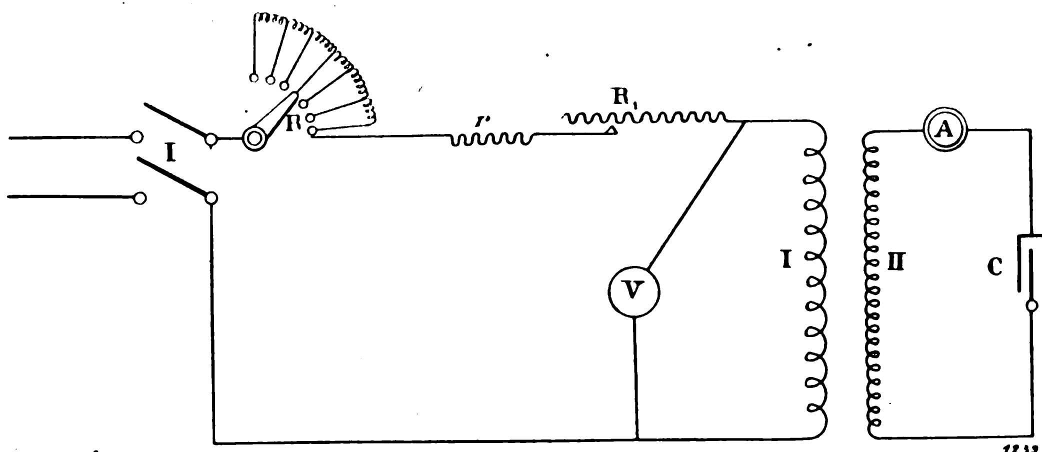


Fig. 9

désirable. Il en est de même du courant continu qui provoque dans le mercure une élévation de température identique à celle que l'on observe pour le courant alternatif. On évite ainsi les causes d'erreur qui résultent de la comparaison de grandeurs dont les différences sont peu appréciables.

Enfin la forme de notre conducteur permet d'éliminer presque entièrement l'influence de la conductance superficielle entre les armatures ; cet inconvénient a donné bien souvent lieu aux erreurs des méthodes antérieures. Ainsi les condensateurs plans à diélectrique lamellaire, mentionnés dans l'introduction, étaient sujets à des pertes dont les 4/5 pouvaient être attribués à la conductance superficielle et le 1/5 seulement au travail intérieur du diélectrique. Dans le condensateur tubulaire le bord de la lame isolante se réduit à de très faibles dimensions, ce qui permet d'obtenir une isolation parfaite entre les extrémités des armatures en adaptant un revêtement supplémentaire en matière non conductrice.

(1) Comparez avec ce qui a été dit dans la première partie de ce mémoire sur la résistance des diélectriques à la perforation.

(2) M. Hoor, Elektrotechn. Zeitschrift, Cahier 22, 1901.

(*A suivre*).

J. Moscicki.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ASSOCIATION ÉLECTROTECHNIQUE ITALIENNE

Du calcul de la section la plus économique dans une transmission d'énergie électrique. — Communication faite par M. **Guido Semenza**, Ingénieur.

La règle de Lord Kelvin pour la recherche de la section la plus économique dans une transmission d'énergie électrique est connue de la plupart pour avoir été étudiée ou vue dans des traités, mais je crois que bien peu auront réussi à l'appliquer aux problèmes de l'électrotechnique. Il ne faut pas entendre par là qu'une objection quelconque puisse être faite à la règle de Lord Kelvin : il ne considère que la seule intensité du courant, en faisant abstraction de la *f. e. m.* En effet, la règle de Lord Kelvin dit que : si dans un circuit on doit faire passer un courant d'intensité donnée, il y aura une certaine section du conducteur pour laquelle il y aura la plus grande économie possible. La règle de Lord Kelvin résout ce problème d'une façon précise, mais dans la pratique ce n'est pas cela qui nous intéresse, car on s'occupe toujours d'énergie ou de puissance transmise, et non d'intensité de courant; par conséquent, c'est une faute de logique, quelle que soit d'ailleurs l'application de la règle de Lord Kelvin aux cas qui nous concernent.

***

Le problème résolu par Lord Kelvin n'en garde pas moins toute son importance, importance qui n'est peut-être pas toujours suffisamment reconnue.

Il est, en effet, singulier, que lorsqu'il se manifeste un progrès dans la transmission électrique, l'élément *section des conducteurs* se trouve en général en concurrence avec des résultats empiriques, sans aucun égard pour le véritable problème économique; il est singulier, alors que pour les supports des fils et les isolateurs on ait recours à toutes les ressources du calcul et toute l'habileté commerciale, dans le but d'économiser quelques pour cent sur les prix, que pour la perte d'énergie dans les lignes on se contente de réserver 5, 10 ou 15 %, sans penser que 10 ou 12 % pourraient amener une différence qui rendrait illusoire une économie réalisée sur le reste avec tant de peine.

***

Nous savons tous où réside le nœud de la question. Plus est grand le poids du cuivre que nous mettons dans le conducteur, moins est forte la quantité d'énergie perdue industriellement par transformation en chaleur. Augmenter la section des conducteurs représente une augmentation des dépenses consentie pour obtenir un rendement plus grand.

Si les dépenses et le rendement croissaient suivant la même loi, tout irait bien ; mais cela n'est pas : tandis que le rendement croît proportionnellement à la diminution de perte, les dépenses augmentent au contraire suivant une branche d'hyperbole.

Si nous considérons les deux limites extrêmes, nous aurons d'une part une réduction de section telle que le rendement sera nul pour une dépense déterminée, et d'autre part une augmentation de section telle que le rendement sera maximum pour une dépense infiniment grande.

Entre ces deux limites il doit y avoir dans chaque cas une valeur des pertes telle, qu'ou bien le bénéfice de l'installation soit maximum ou que le prix du Kwh. soit minimum, ou qu'enfin soit réalisée une certaine condition d'économie désirée.

***

Beaucoup d'auteurs, parmi lesquels Kapp, Perrine, Forbes, ont cherché à rendre pratique la loi de Lord Kelvin et ont donné des formules et des règles. Mais qu'il me soit permis d'élever un doute sur la possibilité d'établir une formule unique pour la résolution de ce problème, alors que celui-ci se présente sous des aspects radicalement différents suivant les cas, chacun d'eux exigeant une solution particulière. Quelquefois on donne une quantité limitée d'énergie à transmettre; d'autres fois elle est illimitée. Dans bien des cas on demande à l'extrémité de la ligne un nombre déterminé de Kw, tandis que dans d'autres, plus il y en arrivera, mieux cela vau-

dra. Enfin, la nécessité d'employer des machines à vapeur comme machines de secours dans une installation hydro-électrique où l'emploi d'accumulateurs viennent donner au problème un aspect nouveau et complexe.

*
* *

Rappelons d'abord deux points :

Il est clair qu'à chaque valeur de la tension choisie pour une installation, correspond une valeur différente de la moindre perte : le problème de la tension la plus convenable et celui de la perte la moins forte seront par conséquent bien distincts ; pour l'instant nous ne nous occuperons que du premier, en supposant que le second ait été résolu par avance.

En second lieu, il n'est pas toujours dit que la section la plus économique soit celle qui convienne le mieux : il peut intervenir des considérations de natures différentes, qui limitent la perte admissible, comme la chute de tension permise, la densité de courant, le nombre des fils, des conditions spéciales des supports ; dans chaque cas la recherche de la section la plus économique sera utile à faire comme calcul d'orientation.

J'ajoute, pour éviter tout malentendu, que je ne prétends pas présenter une méthode de recherche originale, puisque je crois qu'ayant voulu étudier vous-mêmes à fond un cas de transmission électrique, vous serez arrivés plus ou moins aux mêmes résultats, et aurez employé des méthodes analogues à celle que je vais vous exposer.

*
* *

Afin de préciser les termes du problème, je le traiterai analytiquement en considérant le cas le plus complet.

*
* *

Considérons une installation hydraulique fournissant W_1 kw, qui sont transmis à la distance l.

On connaît :

A = prix de l'installation hydro-électrique.

B = prix de la ligne sans les fils.

On connaît aussi le prix P auquel sera vendu le kw-année *à forfait* et la valeur D des dépenses pour l'exercice de l'installation entière, excepté celles qui concernent le métal des conducteurs, que nous appellerons E.

Soit C le coût total des fils conducteurs.

Nous connaissons donc le coût de l'installation, le prix de vente et les dépenses pour l'exercice.

Dans un tel cas, il s'agit de trouver la section de cuivre qui donnera le bénéfice maximum à l'entreprise, c'est-à-dire celui pour lequel le rapport entre le bénéfice net et le capital employé sera le plus grand.

Si nous appelons W_2 le nombre de kw. reçus à l'extrémité de la ligne, la recette brute sera PW_2 ; la recette nette sera $PW_2 - D - E = I$.

Le capital employé sera $A + B + C = S$

Le bénéfice :

$$F = \frac{I}{S} = \frac{PW_2 - D - E}{A + B + C} \qquad (1)$$

Il s'agit alors de trouver la valeur de la perte d'énergie qui rende F maximum.

Comme on peut le voir, j'ai complètement négligé la durée d'utilisation qui figure dans la règle de Lord Kelvin ; mais, dans le cas actuel, cela est inutile, puisqu'on suppose que la vente du courant se fait *à forfait;* par conséquent, la recherche doit porter sur la valeur maxima de la puissance transmise, laquelle fixe précisément le nombre maximum de kw. qui peuvent être vendus.

Ce calcul peut se faire d'une manière assez simple.

Appelons :

- x le pourcentage de la perte, exprimé dans le système décimal.
- a le taux d'amortissement et la manipulation du cuivre.
- n le nombre des conducteurs (ne pas confondre avec le nombre des fils, c'est-à-dire que pour du courant continu ou alternatif monophasé $n = 2$, pour courant triphasé $n = 3$)
- l la longueur simple de la ligne.
- k la résistivité de la ligne.
- p le prix du métal formant le conducteur.
- i l'intensité du courant dans chaque conducteur.
- m le poids spécifique du métal des conducteurs.

Nous pourrons écrire les équations suivantes :

Puissance reçue en fonction de la perte :

$$W_2 = W_1 - xW_1 = (1 - x)W_1 \qquad (2)$$

Dépenses de l'exercice dues aux conducteurs :

$$E = aC \qquad (3)$$

Section de chaque conducteur :

$$S = kl\,\frac{ni^2}{xW_1} \qquad (4)$$

Prix des conducteurs :

$$C = n^2 l^2 kmp\,\frac{i^2}{xW_1} \qquad (5)$$

Pour simplifier posons :

$$C = \frac{H}{x} \qquad (6)$$

Ce que nous pouvons faire, puisque toutes les quantités sont connues, sauf x.

En substituant dans (1), il vient :

$$F = \frac{PW_1(1-x) - D - a\dfrac{H}{x}}{A + B + \dfrac{H}{x}} = \frac{PW_1 x(1-x) - Dx - aH}{(A+B)x + H}.$$

et en posant $A + B = K$.

$$F = \frac{PW_1\,x(1-x) - Dx - aH}{Kx + H} \qquad (7)$$

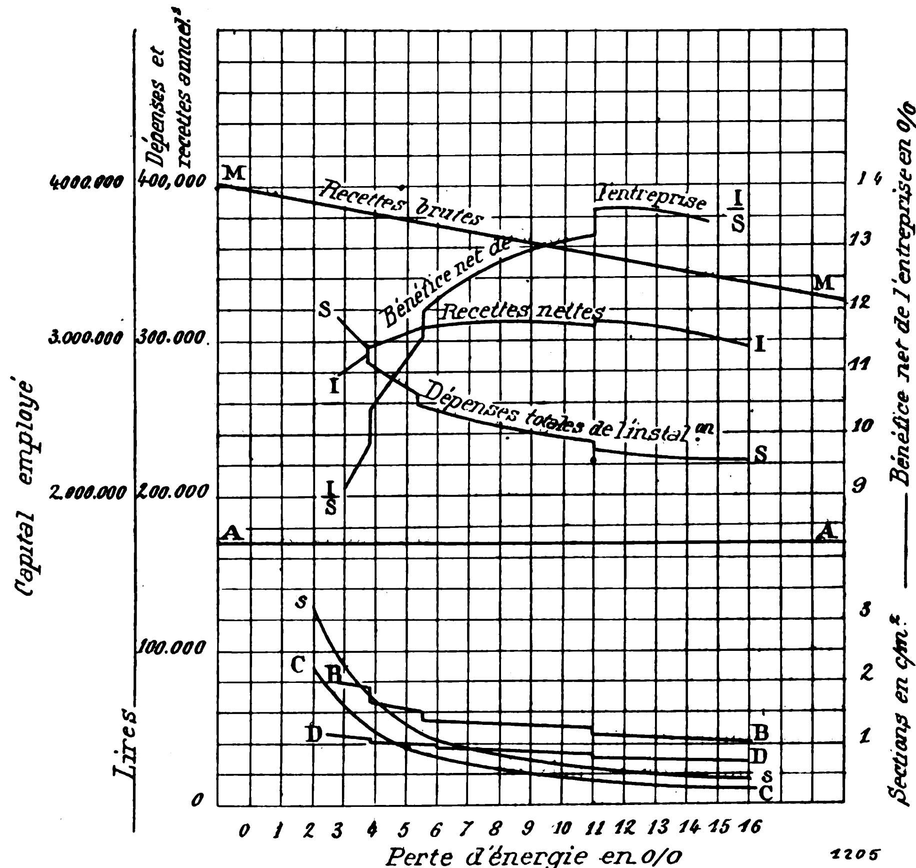


Fig. 1

Par application du calcul différentiel, la valeur de x qui rendra maxima la fonction F, sera donnée par :

$$x = -\frac{H}{K} \pm \sqrt{\frac{H^2}{K^2} \pm \frac{H(PW_1 - D + aK)}{KPW_1}}$$

Dans la pratique, nous tirerons de la formule précédente une valeur de la perte, à laquelle correspond le plus grand avantage pour l'installation. Mais quelles seraient les conséquences, si nous nous écartions légèrement de ce maximum? La formule, telle que, ne le dit point.

D'autre part, nous n'avons pas pu introduire dans les calculs une considération qu'il est difficile de négliger. Nous avons supposé constante la valeur de B, coût de l'installation de la ligne sans le cuivre. Or cela ne correspond pas à la réalité ; la robustesse, en effet, des supports varie, lorsque la ligne est construite rationnellement, avec le poids des conducteurs, et lorsqu'il s'agit de courant alternatif, le nombre des fils peut varier suivant la section choisie. Nous savons, en effet, qu'il ne convient pas, à cause de la self-induction,

de prendre des sections trop grandes. Toutes ces considérations font que le prix des poteaux, isolateurs, de la pose, etc., varie avec la section et, en particulier, avec le nombre des fils employés.

Si nous ne pouvons tenir compte de tout cela dans une formule, nous pouvons par contre le faire facilement à l'aide d'une représentation graphique.

***

Etudions un cas pratique, dans lequel :

$$W_1 = 2000 \text{ kw.}$$
$$l = 50 \text{ km.}$$
$$A = 1.700.000 \text{ lires}$$
$$a = 0.10$$
$$P = \text{L. } 200$$
$$p = \text{L. } 2 \text{ par kg.}$$

Soit un système à courant triphasé de 20.000, volts, facteur de puissance = 0.8.

La formule (4) qui donne la section en fonction de la perte x, prend la forme suivante, dans le cas de courant triphasé :

Traçons cette courbe $s = f(x)$, en prenant pour abscisses les valeurs de x et pour ordonnées les sections (fig. 1.)

Avec les mêmes abscisses et en prenant pour ordonnées les prix en Lires, traçons la ligne horizontale représentant A, prix de l'installation, sans la ligne.

Les valeurs de B, coût de la ligne sans le cuivre, seront représentées par une courbe qui pourra se déterminer en se basant sur celle de la section.

Cette ligne sera brisée chaque fois qu'il sera nécessaire de changer le nombre des fils.

Enfin il faut tracer la courbe de C, prix du cuivre. Celui-ci est donné par la formule (5), qui, pour le cas particulier du courant triphasé, devient :

$$C = 3l^2kmp \frac{W_1}{V_2 \cos^2 \varphi} \frac{1}{x} \qquad (10)$$

La somme des ordonnées de A, B, C, déterminera une courbe S représentant le capital employé pour l'installation en fonction de la perte X.

Les revenus bruts $PW_2 = PW_1(1 - x)$ seront représentés par une droite inclinée, ayant pour $x = 0$ une ordonnée PW_2.

La valeur de D sera en général une courbe déduite de la courbe S, obtenue en multipliant les ordonnées par un certain coefficient de taux d'intérêt, amortissement, manipulation, que nous avons supposé être dans le cas actuel 0.10.

Enfin, les valeurs de E sont représentées par une ligne dont les ordonnées sont proportionnelles à celles du prix du cuivre, proportionnalité dépendant du taux d'intérêt, amortissement et de la manipulation du cuivre ; comme ce facteur de proportionnalité est ici 0.1, la courbe E coïncide avec la courbe C.

En retranchant les ordonnées de D et E de celles des recettes brutes, nous obtenons celles des recettes nettes.

Il ne reste plus qu'à tracer la courbe $\frac{I}{S}$ qui est celle que nous cherchons.

Celle-ci présente un minimum pour $x = 0.12$, cependant, étant donnée l'allure de la courbe $\frac{I}{S}$ on voit que le bénéfice varie bien peu si au lieu de 12 °/o on choisit 15 °/o, auquel cas il y a une notable économie pour le capital.

***

Le cas précédent se présente rarement dans la pratique : le plus souvent, il s'agit d'une installation hydraulique, dans laquelle sont connus la puissance disponible et le coût d'installation, mais non le prix auquel sera vendu le kilowatt-année.

Il est alors nécessaire de fixer d'autres termes à l'économie. Le plus rationnel est de considérer le prix de revient du Kw livré à l'extrémité de la ligne, et de demander que ce prix soit minimum : il est évident que plus le prix du Kw sera réduit, mieux et d'autant plus facilement le courant se vendra.

Conservons les mêmes notations que dans le cas précédent.

Le capital utilisé sera $A + B + C$, la charge annuelle due au capital, c'est-à-dire les intérêts, l'amortissement sont $b(A + B) + aC$.

Les dépenses de l'exercice D s'ajoutent à la somme précédente, puisque le coût du Kw-année est pris à l'extrémité de la ligne. Il en résulte :

$$Q = \frac{b(A + B) + aC + D}{W_2}$$

Posons :

$$b(A + B) + D = M$$

En substituant dans les formules (5), (2) et (6), on obtient

$$Q = \frac{M + a\frac{H}{x}}{W_1(1 - x)}$$

d'où résulte le minimum de Q en fonction de x, donné par

$$x = -\frac{a\mathrm{H}}{\mathrm{M}} \pm \sqrt{\frac{\mathrm{H}a}{\mathrm{M}}\left(\frac{\mathrm{H}a}{\mathrm{M}}+1\right)}$$

Nous allons, pour ce cas également, considérer un exemple numérique et nous servir de la représentation graphique.

Soient:

W_1 = 10.000 Kw.
A = 5.000.000 Lires
D = 100.000 Lires
a = 0.08
l = 120 Km.
B = 2.000.000
b = 0.12

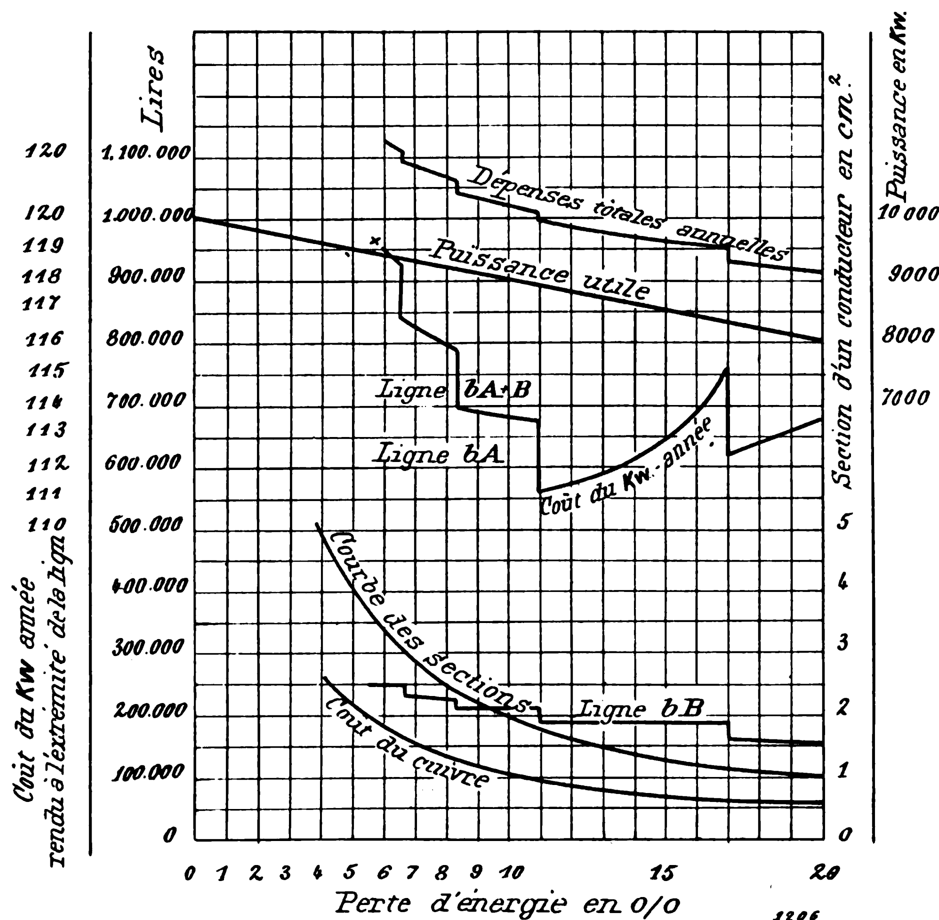


Fig. 2

Système à courant triphasé, tension de départ 40.000 volts.

En appliquant la formule, en prenant pour prix du cuivre 4. 2 par Kg, on obtient

$$x = 0,1099$$

Passons à la méthode graphique (fig. 2).

Traçons :

a) La courbe des sections S.

b) La courbe du coût annuel du cuivre *a* C.

c) La courbe *b*A, qui est une ligne horizontale.

d) La courbe *b* B, qui est irrégulière et à gradins.

e) La courbe D.

En faisant la somme des ordonnées *b* A, *a* C, D et *b* B, nous obtenons la courbe du coût annuel de l'exercice. Traçons enfin la ligne $W_2 = W_1 (1-x)$ et en prenant le rapport des ordonnées, nous obtenons la courbe XX qui est celle que nous cherchons.

Dans ce cas-ci, le maximum est à 10°/o de pertes et il ne convient pas de s'en éloigner, étant donné l'allure de la courbe.

***

Un autre cas qui se présente fréquemment est celui où l'on demande une quantité déterminée d'énergie à l'extrémité de la ligne, et qu'à la station génératrice la quantité disponible ne soit pas illimitée.

Dans ce cas W_2 est donné ; de plus est donné le coût de Kw-année à la station, c'est-à-dire P.

Les dépenses annuelles seront :

$$PW_1 + b\,B + D + a\,C$$

et il s'agit de rendre minima l'expression du coût du Kw-année livré :

$$S = \frac{PW_1 + bB + D + aC}{W_2}$$

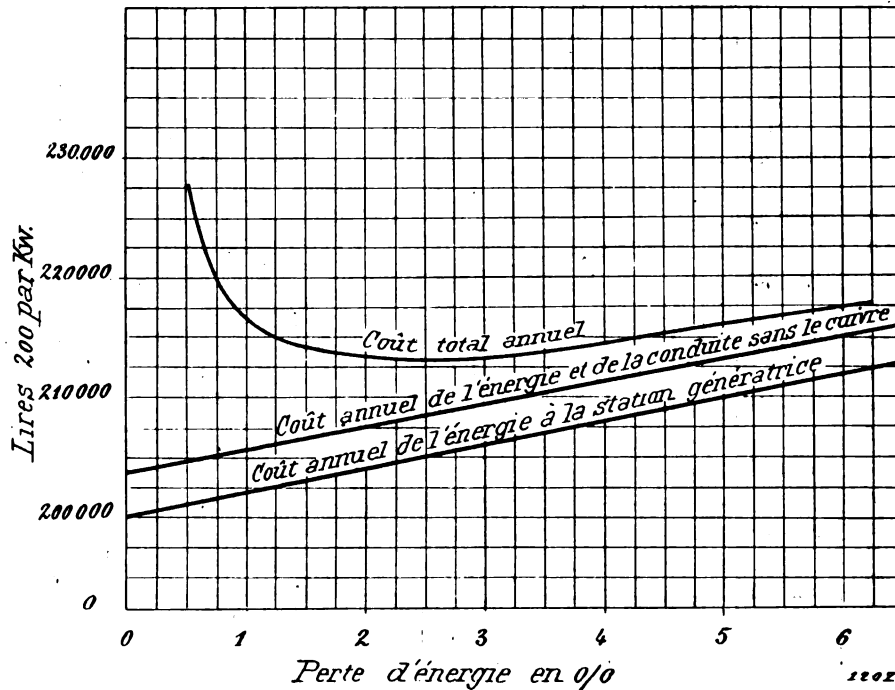


Fig. 3

Cette condition est remplie par la valeur suivante de X :

$$X = -\frac{aM}{PW_2} \pm \sqrt{\frac{aM}{PW_2}\left(\frac{aM}{PW_2} + 1\right)}$$

***

Comme exemple, voici une petite transmission à courant continu à 2000 volts.

Soit la distance $l = 2$ Km.

La puissance demandée 1000 Kw.

B = 4. 20.000

D = 4.10.000

et soit le prix d'achat du Kw-année à l'origine de la ligne de 4:200

b = 0,12

a = 0,08

Le diagramme de la fig. 3 montre l'application graphique à ce cas, et donne un résultat assez simple, la valeur de B pouvant être maintenue constante.

***

Le problème prend une forme assez intéressante dans le cas où il s'agit d'une installation mixte, c'est-à-dire hydraulique et thermique. Dans ce cas, le calcul graphique est seul possible, puisque les variables en jeu ne se prêtent pas à la mise en équation.

Pour être plus brefs et plus clairs, nous allons traiter un cas particulier.

Supposons que dans une installation se présente une force motrice de 4000 Kw, et qu'à une certaine distance l soit disponible une puissance hydraulique de 3000 Kw. Il est clair que la machine à vapeur devra produire la puissance contenue dans l'expression.

$$4000 - (3000 + q)$$

q étant la puissance perdue dans la ligne. Suppo-

sons que cette génération à vapeur se fasse à la station réceptrice.

Etant donné le coût des divers éléments, quelle sera la valeur de q pour laquelle il y aura la plus grande économie par exercice ?

Nous traçons d'abord (fig. 4) les courbes relatives à l'installation à vapeur. Le coût d'une installation à vapeur est fonction des heures d'utilisation de cette même installation. Nous traçons ensuite la ligne d'utilisation probable, qui a pour abscisse les Kw et pour ordonnées les temps. Soit *aa* cette courbe.

Des dépenses concernant l'installation à vapeur, le seule partie intéressante est celle qui est

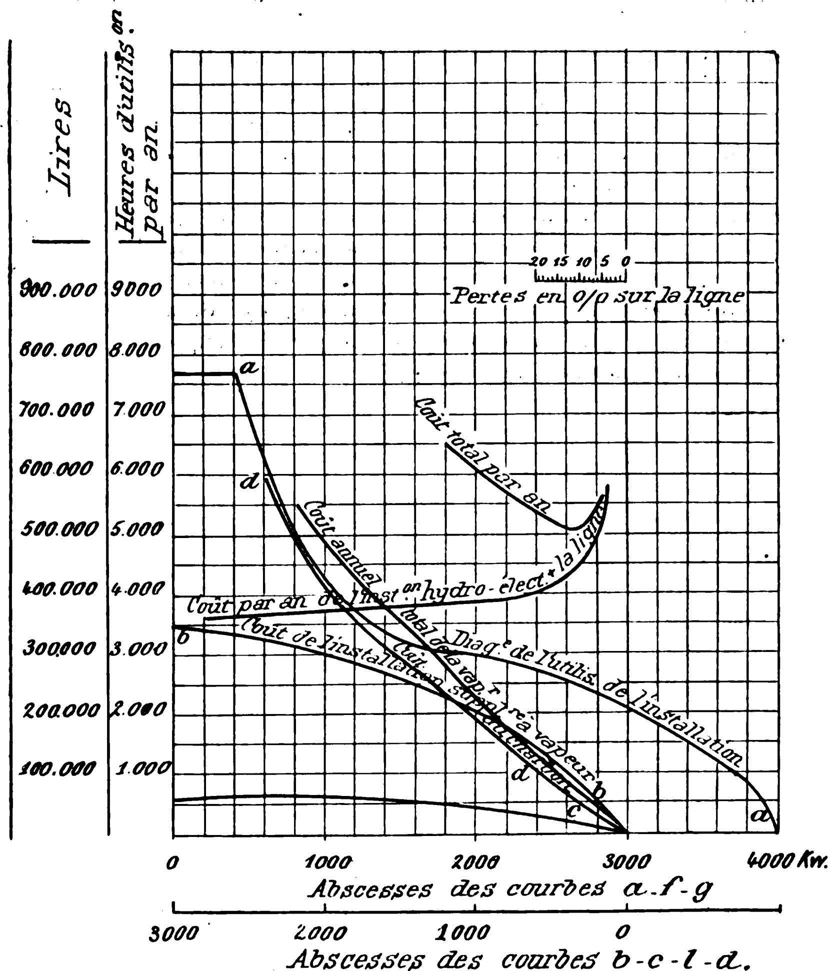


Fig. 4

nécessaire pour la production jusqu'à 1000 Kw ; car l'autre partie doit subsister dans chaque cas, et est une constante.

La ligne *bb* représente le coût d'une telle installation, que nous appellerons supplémentaire : elle formera une ligne ayant son origine à l'abscisse 3000, et les ordonnées augmenteront à mesure que les abscisses diminuent, c'est-à-dire à mesure que diminue la puissance à l'extrémité de la ligne. Aussi, pour permettre de mieux comprendre, avons-nous indiqué au-dessous les vraies valeurs des abscisses de cette ligne, lesquelles ont pour origine 3000 et croissent de la droite vers la gauche.

Le coût supplémentaire d'une installation donne lieu à des dépenses annuelles supplémentaires pour les intérêts, amortissements et manipulations : ces dépenses suivent la même loi que la ligne *bb* et sont représentées par *cc*.

La dépense de charbon peut être considérée

comme proportionnelle aux Kwh supplémentaires. On connaît par la courbe *aa* le nombre des Kwh annuels ; le prix du charbon est donné, on peut donc tracer une courbe *dd* donnant la dépense annuelle pour le charbon en fonction du nombre de Kw supplémentaires.

La somme des ordonnées de *cc* et *dd* donne la dépense totale et annuelle pour l'installation à vapeur.

Passons à l'installation hydraulique.

A l'aide des méthodes exposées précédemment, il sera facile de tracer une courbe, qui indiquera la dépense totale annuelle pour l'installation hydraulique en fonction du nombre de Kw arrivant à l'extrémité de la ligne : ce sera une courbe asymptotique à une parallèle à l'axe des abscisses et qui monte rapidement pour devenir asymptotique à l'ordonnée ayant 3000 pour abscisse.

La somme des ordonnées de cette courbe et de celles de la courbe des dépenses de l'installation à vapeur détermine la courbe des dépenses totales qui, dans le cas actuel, présente un minimum pour la valeur 350 Kw de l'installation supplémentaire à vapeur, c'est-à-dire que 1350 kw devront être produits par la vapeur.

*
* *

Ces diverses applications, desquelles ressort toute l'importance qu'il faut attribuer au problème de Lord Kelvin, montrent d'une manière suffisamment claire, combien la méthode graphique se prête mieux à la résolution du problème, que la méthode analytique. Ma conviction est entière, que le problème de Lord Kelvin, ainsi interprété, pourra rendre de nombreux services dans l'économie à apporter aux installations électriques, et qu'il sera couramment employé dans l'étude d'une transmission d'énergie électrique.

L. M.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant : A. BONNET.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

ENROULEMENTS DES DYNAMOS A COURANT CONTINU

I. — Principes Généraux

Enroulement tambour. — Un enroulement en tambour est composé de génératrices réunies les unes aux autres d'une façon déterminée, sur les faces avant et arrière de l'armature, de manière à former une chaîne continue et fermée comprenant toutes les génératrices.

Pas de l'enroulement. — Supposons les génératrices réparties uniformément sur l'armature et numérotées dans l'ordre où on les rencontre quand on tourne dans un certain sens. Si l'on suit l'enroulement dans le sens des numéros croissants ou décroissants on passe d'une génératrice à une autre par l'intermédiaire d'une jonction sur l'une ou l'autre des faces du noyau. Le nombre qu'il faut ajouter ou retrancher au numéro d'ordre d'une génératrice pour obtenir la génératrice suivante, s'appelle le pas de l'enroulement sur la face considérée.

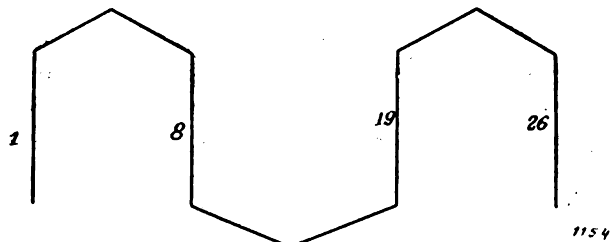


Fig. 1

Exemple. — L'enroulement commence à la génératrice 1 sur la face avant, va de la géné-

ratrice 1 à la génératrice 8 sur la face arrière, revient en avant par 8, arrive à la génératrice 19 par la face avant, etc... L'enroulement a pour pas respectifs $8 - 1 = 7$ sur la face arrière, $19 - 8 = 11$ sur la face avant.

Remarque. — Les pas avant et arrière peuvent être égaux ou inégaux :

Enroulements ondulés et imbriqués. — Nous distinguerons 2 sortes d'enroulements en tambour.

Si les pas y_1 (face arrière) et y_2 (face avant) sont comptés dans le même sens pour un observateur regardant l'une quelconque des faces et placé en avant de cette face, l'enroulement est dit *ondulé*. Si les pas sont comptés en sens inverses, l'enroulement est dit *imbriqué*.

L'exemple donné plus haut est celui d'un enroulement ondulé. Considérons le cas suivant : La génératrice 1 est réunie à 6 sur la face arrière, la génératrice 6 à 3 sur la face avant, 3 à 8 sur la face arrière, etc... L'enroulement est dit *imbriqué*.

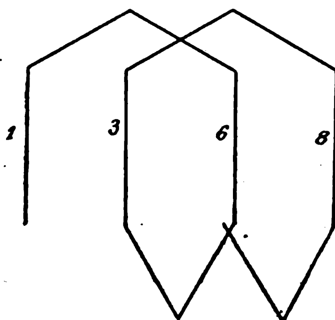


Fig. 2

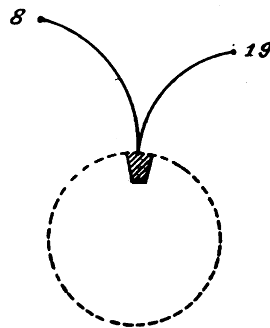


Fig. 3

Dans ce cas, en effet, les pas $y_1 = 5$ et $y_2 = 3$ sont comptés en sens inverses.

Ces dénominations proviennent de ce que, si on développe sur un plan les 2 genres d'enroulements, on a 1) pour l'ondulé, et 2) pour l'imbriqué.

D'après la définition même, l'enroulement imbriqué ne peut exister qu'à la condition d'avoir des pas inégaux.

Remarque. — Nous supposerons le collecteur placé du côté de la face avant de l'armature. Les génératrices sont réunies sur cette face par une pièce métallique reliée à une lame du collecteur (fig. 3). Dans l'étude géométrique qui va suivre, nous considérerons ces génératrices comme réunies directement.

II. — Enroulements ondulés

A. — Étude géométrique des enroulements. — Si l'on projette un enroulement sur l'une des faces de l'armature, la face avant par exemple, on obtient un polygone étoilé dont les sommets sont les projections des génératrices, et les côtés, les projections des différentes jonctions (fig. 4).

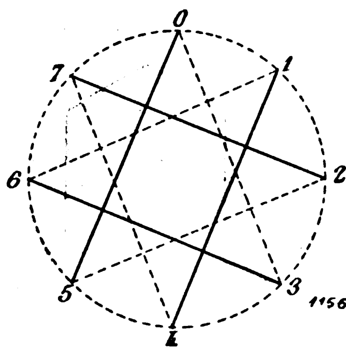


Fig. 4

Ce polygone étoilé est régulier si l'enroulement est à pas égaux et irrégulier dans le cas contraire. Si les pas sont inégaux, les côtés dérivent alternativement de y_1 et y_2 (pas sur les faces arrière et avant). L'enroulement étant fermé et comprenant toutes les génératrices, le nombre de jonctions sur la face arrière est évidemment le même que sur la face avant. Le polygone obtenu par projection aura donc toujours un nombre pair de côtés et de sommets.

Etant donnée une circonférence divisée en N parties égales, on ne peut réaliser un polygone étoilé utilisant tous les points de division que s'il existe certaines relations

entre le nombre total de divisions et le nombre de divisions utilisées par chaque côté. Ce sont ces relations que nous allons déterminer dans le cas général où les pas de l'enroulement sont inégaux.

Considérons une circonférence divisée en N parties égales et soient 0, 1, 2, 3,....N-1, les points de division successifs. Supposons tracé le polygone étoilé de N côtés, ceux-ci dérivant alternativement de y_1 et y_2, c'est-à-dire sous-tendant y_1 ou y_2 divisions (cela suppose bien entendu N pair) (fig. 5). Joignons les points de division 0 et $(y_1 + y_2)$, $(y_1 + y_2)$ et $2(y_1 + y_2)$, etc... On forme ainsi un nouveau polygone de $\frac{N}{2}$ côtés se fermant en 0. Ces $\frac{N}{2}$ côtés sont égaux comme sous-tendant des arcs égaux $(y_1 + y_2)$. Le nombre total de divisions sous tendues est $\frac{N}{2}(y_1 + y_2)$. C'est un multiple de N puisqu'on revient au point 0. Par suite $y_1 + y_2$ *est divisible par* 2.

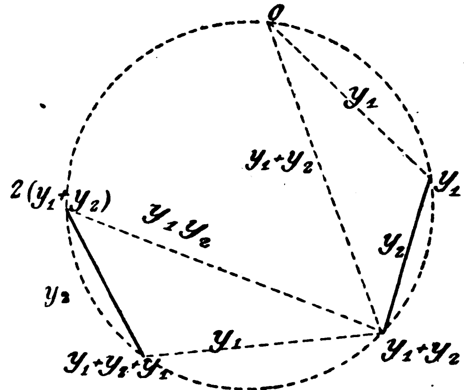


Fig. 5

De plus, d'après la théorie des polygones réguliers étoilés $y_1 + y_2$ et N ont 2 pour p. g. c. d., puisque en joignant les points de division de $y_1 + y_2$ en $y_1 + y_2$, le polygone se ferme après qu'on a décrit $\frac{N}{2}$ côtés (1).

Le nouveau polygone ayant $\frac{N}{2}$ sommets, $\frac{N}{2}$ divisions restent inutilisées. Par raison de symétrie, ces $\frac{N}{2}$ divisions sont toutes disposées de la même façon par rapport aux $\frac{N}{2}$ divisions utilisées.

En d'autres termes, si l'on parcourt la circonférence d'une manière continue, on rencontre alternativement une division utilisée et une non utilisée.

D'après la construction, on a :

$$\left.\begin{matrix}0\\2\\4\\6\\.\\.\\.\end{matrix}\right\}\text{utilisées.}\qquad\qquad \left.\begin{matrix}1\\3\\5\\7\\.\\.\\.\end{matrix}\right\}\text{non utilisées.}$$

La division y_1 n'appartenant pas au nouveau polygone (2), il en résulte que y_1 est impair. Par suite y_2 est aussi impair.

(1) Rappel de la théorie des polygones réguliers étoilés. — Considérons une circonférence divisée en N parties égales, 0, 1, 2... N-1. Joignons, à partir de 0, les points de division de y en y. Si p est le nombre de côtés tracés à un moment quelconque, le nombre total de divisions sous-tendues est py, c'est-à-dire un multiple de y et de p. Dès que py sera multiple de N, c'est-à-dire du nombre total de divisions, on retombera au point origine 0, puisqu'on aura parcouru un nombre exact de fois la circonférence. A partir de là, si on continue à parcourir la circonférence toujours dans le même sens, on retombe sur les divisions déjà utilisées et l'on recouvre les côtés déjà tracés. Il en résulte que si l'on ne veut revenir au point de départ qu'après avoir obtenu N côtés, il est nécessaire que Ny soit le p. p. c. m. à y et à N, c'est-à-dire que N et y soient premiers entre eux.

La condition est suffisante, car si elle est remplie, on ne reviendra au point de départ qu'après avoir sous-tendu N y divisions c'est-à-dire après avoir tracé N côtés.

Remarque. — Si y et N ont d pour p. g. c. d., leur plus petit commun multiple est $\frac{N\gamma}{d}$. On reviendra au point de départ après avoir sous-tendu $\frac{N\gamma}{d}$ divisions, c'est-à-dire après avoir tracé $\frac{N}{d}$ côtés.

(2) Car si elle y appartenait, en revenant au polygone primitif, on trouverait qu'il passe par le point y_1 4 côtés du polygone irrégulier étoilé, ce qui n'est pas.

Dans tout polygone analogue à celui considéré, on aura donc y_1 et y_2 impairs, $\frac{y_1 + y_2}{2}$ premier avec $\frac{N}{2}$.

Inversement, si $\frac{y_1 + y_2}{2}$ est premier avec $\frac{N}{2}$, on pourra tracer un polygone étoilé régulier de $\frac{N}{2}$ côtés $(y_1 + y_2)$, utilisant les points de division 0, 2, 4, 6....., $y_1 + y_2$,..... N-2. Si de plus y_1 et y_2 sont impairs, en appliquant le triangle 0, y_1, $y_1 + y_2$ sur chacun des côtés du polygone en tournant toujours dans le même sens, on constituera le polygone étoilé irrégulier dont les côtés dérivent alternativement de y_1 et y_2.

Les 2 conditions trouvées sont donc nécessaires et suffisantes.

Remarque. — Si l'on fait $y_1 = y_2$, les conditions deviennent

$$\frac{2y_1}{2} \text{ ou } y_1 \text{ premier avec } \frac{N}{2}$$

$$y_1 \text{ impair}$$

La condition y_1 impair jointe à y_1 premier avec $\frac{N}{2}$ est équivalente à celle trouvée pour les polygones réguliers étoilés, y premier avec N, car y_1 étant premier avec $\frac{N}{2}$ l'est aussi avec N puisque y_1 est impair.

Inversement si y est premier avec N (pair) y est impair et premier avec $\frac{N}{2}$.

Résumé	Polygone régulier étoilé (pas égaux)	y doit être impair et premier avec $\frac{N}{2}$
	Polygone irrégulier étoilé (pas inégaux)	N et $y_1 + y_2$ doivent être pairs y_1 et y_2 doivent être impairs $\frac{y_1 + y_2}{2}$ et $\frac{N}{2}$ premiers entre eux

B — Etude des Enroulements au point de vue électrique. — Nous étudierons tout d'abord, à cause de sa simplicité, le cas des pas égaux. — Nous prendrons ensuite le cas plus général où les pas sont inégaux.

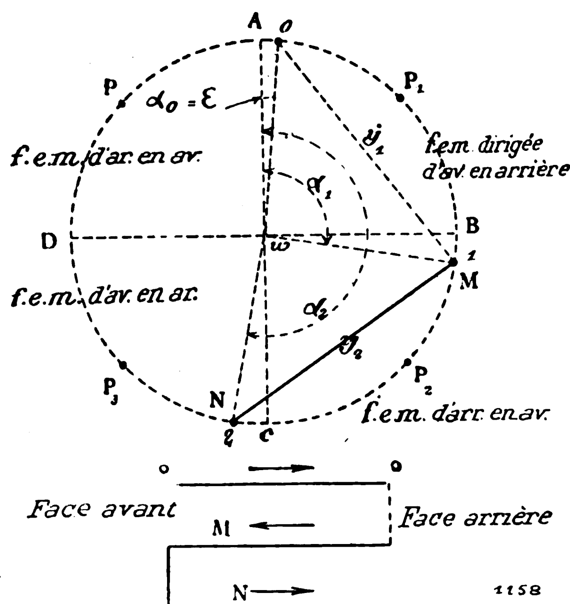


Fig. 6

a) Pas égaux. — Je considère une armature tournant dans le champ de $2p$ pôles et portant des génératrices uniformément réparties sur sa surface (fig. 6).

Les lignes ωA, ωB, ωC,....., placées symétriquement par rapport aux pôles P et P_1, P_1 et P_2, P_2 et P_3 ....., déterminent sur la circonférence des arcs AB, BC,....., tels que les génératrices situées sur deux arcs voisins ont des forces électromotrices dirigées en sens inverses. Nous donnerons à ωA, ωB, ωC....., le nom de lignes neutres. S'il y a $2p$ pôles, il y a aussi $2p$ lignes neutres.

Je considère une génératrice 0, infiniment voisine de A et à droite de ωA. Prenant pour origine le point 0 sur la face avant, je vais chercher de quelle manière il faut faire les connexions pour réaliser un enroulement déter-

miné. Supposons que la force e. m. de 0 soit dirigée d'avant en arrière. Il faudra réunir sur la face arrière cette génératrice 0 à une autre M, placée de manière que les f. e. m. de 0 et de M s'ajoutent. Cela exige que la f. e. m. de M soit dirigée en sens inverse de celle de 0. Par suite, M doit se trouver sur un arc tel que BC, de polarité différente de celle de AB [1]. OM correspond au pas y_1 sur la face arrière. De même N sera réunie sur la face avant à la génératrice N, située sur un arc tel que CD, de même polarité que AB. Les génératrices O, M, N....., seront appelées *génératrices successives de l'enroulement*. L'enroulement ainsi déterminé sera composé de génératrices rencontrées sur les divers arcs en tournant toujours dans le même sens [2].

Les génératrices successives de l'enroulement étant numérotées 0, 1, 2, 3..... n, désignons par α_0, α_1, $\alpha_2 \ldots \alpha_n \ldots$, les angles que font les rayons $\omega 0$, $\omega 1$, $\omega 2, \ldots \omega n \ldots$, avec la ligne neutre ωA. On aura, y étant le pas:

génératrice 0) $\alpha_0 = \epsilon$ (infiniment petit)

$$\left.\begin{array}{ll} \text{— } 1) & \alpha_1 = \epsilon + y \times \frac{2\pi}{N} \\ \text{— } 2) & \alpha_2 = \epsilon + 2y \times \frac{2\pi}{N} \\ \text{— } 3) & \alpha_3 = \epsilon + 3y \times \frac{2\pi}{N} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \\ \text{— } n) & \alpha_n = \epsilon + ny \frac{2\pi}{N} \\ \text{— } n+1) & \alpha_{n+1} = \epsilon + (n+1)y \frac{2\pi}{N} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \end{array}\right\}$$

N = nombre total de génératrices

$\frac{2\pi}{N}$ = angle au centre de 2 génératrices voisines *sur l'armature*.

Pour que les f. e. m. de ces génératrices s'ajoutent à celle de 0, il faut que 2 génératrices successives quelconques de l'enroulement se trouvent sur 2 arcs de polarités différentes. La manière la plus simple d'opérer consiste à prendre une génératrice sur chacun des arcs rencontrés. On pourrait procéder autrement, en passant plusieurs arcs à la fois, mais on augmenterait ainsi la longueur des connexions. On devra donc, la génératrice 0 étant sur le 1er arc, prendre la génératrice 1 sur le 2me, 2 sur le 3me,....., la génératrice n sur le $(n+1)$^{eme}.

Cela se traduit par les inégalités:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{génératrice } 1) & \frac{\pi}{p} < \epsilon + y \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p} \\ \text{— } 2) & \frac{2\pi}{p} < \epsilon + 2y \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p} \\ \text{— } 3) & \frac{3\pi}{p} < \epsilon + 3y \frac{2\pi}{N} < \frac{4\pi}{p} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \\ \text{— } n) & \frac{n\pi}{p} < \epsilon + ny \frac{2\pi}{N} < (n+1) \frac{\pi}{p} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \end{array}\right\}$$

$\frac{\pi}{p}$ = angle au centre correspondant à un arc tel que AB.

[1] Nous disons que 2 arcs ont des polarités différentes, lorsque les génératrices situées sur l'un ont des f. e. m. dirigées en sens inverse de celles des génératrices situées sur l'autre. 2 arcs de même polarité sont 2 arcs pour lesquels les génératrices ont des f. e. m. de même sens.

[2] La génératrice M aurait pu être choisie sur un arc tel que AD, qui est aussi de polarité différente de AB, la génératrice N sur l'arc DC etc..... Cela nous donnerait un 2me enroulement tournant en sens inverse du précédent. Si l'on prend le symétrique de ce 2me enroulement par rapport à ωA, on obtient un enroulement identique au 2me quant au pas, mais tournant dans le même sens que le 1er. Comme le point 0 aura alors sa projection à gauche de ωA, on voit qu'il suffit pour déterminer le pas du 2me enroulement de supposer le point 0 à gauche de ωA et infiniment voisin de A. C'est ce qu'on fera dans la suite.

Comme nous voulons avoir au moins 2 génératrices en tension, il faut que les inégalités relatives à la génératrice 1) soient vérifiées.

$$\frac{\pi}{p} < \varepsilon + y\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$$

On en déduit:

$$(\alpha) \qquad y\frac{2\pi}{N} \geq \frac{\pi}{p}$$

$$(\beta) \qquad y\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$$

Ces conditions étant supposées remplies, les 1res parties des inégalités sont toutes satisfaites quel que soit n, et nous n'avons à considérer que les 2mes parties.

Remarquons tout d'abord que, si la condition (α) était vérifiée avec le signe $=$, l'inégalité relative à la génératrice 1) étant satisfaite, toutes celles qui suivent le seraient aussi. Toutes les génératrices seraient en tension et leur nombre serait $= 2\,p$. Ecartons ce cas très particulier. La condition α) devient :

$$(\alpha') \qquad y\frac{2\pi}{N} > \frac{\pi}{p}$$

Ceci posé, considérons l'inégalité générale (γ) relative à la génératrice n)

$$(\gamma) \qquad \varepsilon + ny\frac{2\pi}{n} < (n+1)\frac{\pi}{p}$$

Il y a lieu de se demander si, pour des valeurs déterminées de n et de y, cette inégalité ne peut se transformer en égalité. Si cela arrivait, on aurait :

$$\varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} = (n+1)\frac{\pi}{p}$$

ou :

$$y = \frac{n+1}{n} \times \frac{N}{2p} - \frac{N\varepsilon}{2\pi n} = \frac{(n+1)\frac{N}{2} - \frac{p\varepsilon\frac{N}{2}}{\pi}}{pn}$$

Comme y doit être entier, il faut que $\frac{p\varepsilon\frac{N}{2}}{\pi}$ le soit aussi, ce qui exige : $p\varepsilon\frac{N}{2} \geq \pi$

ou

$$\varepsilon \geq \frac{2\pi}{pN}$$

Or nous avons supposé ε infiniment petit, c'est-à-dire plus petit que toute quantité finie $\frac{2\pi}{pN}$. L'inégalité $\varepsilon \geq \frac{2\pi}{pN}$ ne peut donc être satisfaite et par suite, l'inégalité générale considérée ne peut se transformer en égalité pour des valeurs entières de y et de n.

Il s'ensuit que l'on ne pourra avoir que :

$$(\gamma) \qquad \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} < (n+1)\frac{\pi}{p}$$

ou :

$$(\delta) \qquad \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} > (n+1)\frac{\pi}{p}$$

Tant que l'on a : $(\gamma)\ \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} < (n+1)\frac{\pi}{p}$, la génératrice n est en tension avec 0, 1, 2..., $n-1$.
Lorsque :

$$(\delta) \qquad \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} > (n+1)\frac{\pi}{p}$$

et que l'inégalité relative à la génératrice $(n-1)$ est encore vérifiée, la génératrice n) est en opposition avec les génératrices 0, 1, 2, ... $n-1$.

(δ) équivaut à :

$$ny\frac{2\pi}{N} \geq (n+1)\frac{\pi}{p}$$

Cela nous donne :

$$y \geq \frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}$$

Nous prendrons :

$$y = \frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p} \text{ (1)}$$

Pour cette valeur de y, (δ) est vérifiée. L'inégalité

$$(\mu) \qquad \varepsilon + (n-1)y\frac{2\pi}{N} < n\frac{\pi}{p}$$

---

(1) On ne peut d'ailleurs prendre pour y une autre valeur.

Si $\frac{n+1}{n}\,\frac{N}{2p}$ n'est pas entier, il peut se faire qu'entre $\frac{n+1}{n}\,\frac{N}{2p}$ et $\frac{n}{n-1}\,\frac{N}{2p}$ on trouve un nombre entier. En donnant à y cette valeur, on aura opposition à la génératrice n. Soit $\frac{\lambda}{\mu}$ la fraction qu'il faut ajouter à $\frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}$ pour avoir ce nombre entier. $y = \frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p} + \frac{\lambda}{\mu}$. Pour que la première opposition se produise à la génératrice n), il faudra que l'inégalité relative à $(n-1)$ conserve son sens, c'est-à-dire que : $\frac{\lambda}{\mu} + \frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p} < \frac{n}{n-1}\cdot\frac{N}{2p}$ ou : $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{n(n-1)}\cdot\frac{N}{2p}$. Pour que la deuxième opposition se produise à la génératrice $2n$, il faudra $y \geq \frac{2n+2}{2n}\,\frac{N}{2p}$ ou $y \geq \frac{n+1}{n}\,\frac{N}{2p}$ avec $y < \frac{2n+1}{2n-1}\cdot\frac{N}{2p}$. La 1re inégalité est satisfaite ; la 2me le sera si $\frac{\lambda}{\mu} + \frac{n+1}{n}\,\frac{N}{2p} < \frac{2n+1}{2n-1}\,\frac{N}{2p}$ ou $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{n(2n-1)}\cdot\frac{N}{2p}$. Pour que la 3me opposition se fasse à la génératrice $3n$, il faudra de même $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{n(3n-1)}\cdot\frac{N}{2p}$. Pour la $2p_1$me opposition ($2p_1 =$ nombre de circuits) il faudra $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{n(2p_1n-1)}\cdot\frac{N}{2p}$ Finalement, si $\frac{\lambda}{\mu}$ satisfait à cette dernière condition, on aura $2p_1$ circuits, comprenant chacun n génératrices en tension. Je vais démontrer que l'on ne peut avoir : $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{n(2p_1n-1}\cdot\frac{N}{2p}$. On a : $y = \frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p} + \frac{\lambda}{\mu} = \frac{(n+1).2p_1}{2p} + \frac{\lambda}{\mu} = \frac{(n+1)p_1 + p\frac{\lambda}{\mu}}{p}$ $(N = 2p_1n)$; y ne peut être entier que si $p\frac{\lambda}{\mu}$ est lui-même entier (car p, p_1 et n sont entiers). Cela exige $p\lambda \geq \mu$ ou $\frac{\lambda}{\mu} \geq \frac{1}{p}$, c'est-à-dire que $\frac{\lambda}{\mu}$ est forcément plus grand que la limite fixée par la condition : $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{n(2p_1n-1)}\cdot\frac{N}{2p}$ En effet $\frac{1}{n(2p_1n-1)}\cdot\frac{N}{2p} = \frac{N}{n(N-1).2p}$. Comme N est toujours > 2, $\frac{N}{N-1}$ est < 2. Par suite : $\frac{N}{n(N-1).2p} < \frac{1}{pn}$. On doit donc avoir *a fortiori* $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{pn}$; ce qui est incompatible avec la condition $\frac{\lambda}{\mu} \geq \frac{1}{p}$. Si $\frac{n+1}{n}\,\frac{N}{2p}$ est entier, un raisonnement identique au précédent, montre qu'il est impossible de prendre pour y un nombre entier $> \frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}$ La seule valeur convenable pour y est donc $\frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}$. On devra donc s'arranger pour que ce nombre soit entier.

relative à la génératrice $(n-1)$ est encore vérifiée. En effet cette inégalité s'écrit :

$$0 < n\frac{\pi}{p} - (n-1)y\frac{2\pi}{N} - \varepsilon$$

ou :

$$0 < n\frac{\pi}{p} - (n-1)\frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}\cdot\frac{2\pi}{N} - \varepsilon$$

ou enfin :

$$0 < \frac{\pi}{pn} - \varepsilon$$

y ayant la valeur $\frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}$, et l'enroulement commençant à la génératrice 0, on aura n génératrices, 0, 1, 2 ... $n-1$, en tension, l'opposition se produisant à la génératrice marquée n.

A partir de la génératrice n, les génératrices successives auront des f. e. m. en tension avec celle de n jusqu'à ce qu'il se produise une deuxième opposition. Voyons à quel moment elle aura lieu.

On a :

$$\varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} > (n+1)\frac{\pi}{p} \qquad \text{et} \qquad \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} < (n+2)\frac{\pi}{p}$$

puisque $y = \frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}$. Les génératrices successives seront en tension avec n si l'on a :

Génératrice n)	$(n+1)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} < (n+2)\frac{\pi}{p}$
— $n+1$)	$(n+2)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + (n+1)y\frac{2\pi}{N} < (n+3)\frac{\pi}{p}$
....	....
— $(n+q)$	$(n+q+1)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + (n+q)y\frac{2\pi}{N} < (n+q+2)\frac{\pi}{p}$
....	....

Les premières parties des inégalités sont toujours vérifiées, puisque $y\frac{2\pi}{N} > \frac{\pi}{p}$ et que l'inégalité relative à n est satisfaite.

Voyons les deuxièmes parties des inégalités.

Considérons l'inégalité générale :

$$\text{Génératrice } n+q) \qquad \varepsilon + (n+q)y\frac{2\pi}{N} < (n+q+2)\frac{\pi}{p}$$

Quand elle cessera d'être vérifiée, la génératrice correspondante $(n+q)$ sera en opposition avec la génératrice n, à condition cependant que l'inégalité relative à $n+q-1$ conserve son sens.

La valeur de $n+q$ est donnée par :

$$\varepsilon + (n+q)y\frac{2\pi}{N} \geqq (n+q+2)\frac{\pi}{p}$$

Remplaçant y par sa valeur $\frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}$, dans cette inégalité, on voit qu'il faut :

$$\varepsilon + (n+q)\frac{n+1}{n}\cdot\frac{N}{2p}\cdot\frac{2\pi}{N} \geqq (n+q+2)\frac{\pi}{p}$$

La plus petite valeur de $n+q$ pour laquelle l'inégalité est satisfaite est :

$$n+q=(n+q+2)\frac{n}{n+1}$$

ou :

$$(n+q)\left(1-\frac{n}{n+1}\right)=\frac{2n}{n+1}$$

$$n+q=2n$$

L'inégalité :

$\varepsilon+(n+q-1)y\frac{2\pi}{N}<(n+q+1)\frac{\pi}{p}$, relative à la génératrice $n+q-1$ est vérifiée pour $n+q=2n$, puisque

$$(n+q)y\frac{2\pi}{n}=(n+q+2)\frac{\pi}{p}$$

$$y\frac{2\pi}{N}>\frac{\pi}{p} \text{ et que } \varepsilon \text{ est infiniment petit.}$$

La génératrice $n+q$ ou $2n$ est donc bien en opposition avec les génératrices n, $n+1$, ..., $n+q-1$, et le deuxième circuit contient n génératrices en tension, n, $n+1$, ..., $n+q-1$.

Par le même raisonnement, on montrerait qu'une troisième inversion se produit à la génératrice $3n$, une quatrième inversion à la génératrice $4n$, etc. Chacun des groupes ou circuits obtenus contiendra donc n génératrices en tension, 2 circuits consécutifs quelconques étant en opposition.

Si l'on veut avoir $2p_1$ groupes, ils devront contenir chacun $\frac{N}{2p_1}$ génératrices. Si, dans la formule donnant y en fonction de n, on remplace n par sa valeur $\frac{N}{2p_1}$, il vient :

$$y=\frac{\frac{N}{2p_1}+1}{\frac{N}{2p_1}}\cdot\frac{N}{2p}=\frac{N+2p_1}{2p}$$

On devra toujours se fixer un nombre pair de circuits, afin que la somme algébrique des f. e. m. soit nulle, c'est-à-dire que l'on n'ait pas de courant dans l'induit, à circuit ouvert.

Remarque. — Si l'on avait pris la génératrice 0 à gauche de ωA, on aurait eu :

génératrice 0)	$\alpha_0=\varepsilon$
— 1)	$\alpha_1=y\frac{2\pi}{N}-\varepsilon$
— 2)	$\alpha_2=2y\frac{2\pi}{N}-\varepsilon$
....	....
n)	$\alpha_n=ny\frac{2\pi}{N}-\varepsilon$
....	....

Par le même raisonnement que celui employé dans le cas où la génératrice 0 est à droite, on obtient :

$$y=\frac{N-2p_1}{2p}$$

La formule générale donnant y *est donc :*

$$y=\frac{N\pm 2p_1}{2p}$$

y et N doivent satisfaire aux conditions géométriques trouvées au début de l'étude, c'est-à-dire : y *impair et* y *et* $\frac{N}{2}$ *premiers entre eux.*

Justin Marqueyrol
Ingénieur des Arts et Manufactures.

(*A suivre*)

* * *

BREVETS

« *Inverseur Electrique à courant superposé* » Système : « Bronislawski » par **M. Boleslas Bronislawski**, ingénieur-électricien.

Cet inverseur à courant superposé a pour but la mise en circuit ou hors circuit d'une ou de plusieurs installations branchées sur un réseau électrique aérien ou souterrain, notamment : d'une installation particulière de l'éclairage ou de la force motrice, d'une partie ou de l'ensemble de l'éclairage public, d'une résistance supplémentaire d'un compteur d'énergie à intégration continue.

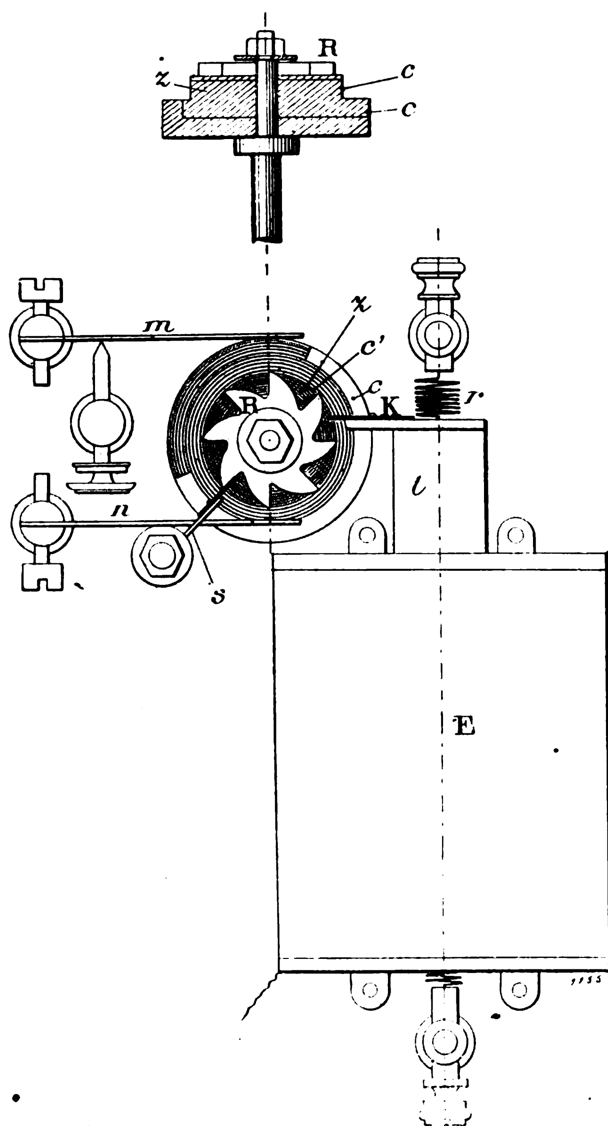


Fig. 1

Il se compose (fig. 1) d'un disque Z à deux surfaces, l'une C, entièrement conductrice et l'autre *c*, alternativement conductrice ou isolatrice, formant ainsi un collecteur. Les parties conductrices de deux surfaces sont reliées entre elles électriquement.

Deux balais fixes *m* et *n*, intercalés dans le circuit à desservir, sont en contact avec les deux surfaces du disque Z.

L'un de ces deux balais *n* est constamment en contact avec la partie conductrice du disque Z, tandis que l'autre *m*, celui qui appuie sur le collecteur, est en contact, soit avec la partie du collecteur conductrice ou isolatrice, suivant la position du collecteur.

Cette position du collecteur change lorsque les disques tournent.

Le disque est actionné par un électro-aimant ou un solénoïde E de telle façon, que lorsque ce dernier est parcouru par un courant électrique, il attire une tige ou un balancier, et avec lui un cliquet flexible E qui fait tourner une roue à rochet ou à goupille R, et avec elle le disque Z, fixé sur le même axe.

Le ressort antagoniste ramène la tige à sa place, lorsque le courant cesse de traverser le solénoïde.

La course de la tige détermine le quotient du tour effectué par la roue R et le disque Z par chaque attraction de la tige.

La surface collecteur C du disque Z est divisée en autant de portions égales qu'il y a de dents dans le rochet R. Le nombre de dents du rochet sera calculé suivant le nombre d'actions que doivent effectuer dans la journée tous les inverseurs répartis dans le réseau, le nombre de portions conductrices du collecteur, suivant l'usage de l'inverseur.

Exemple : supposons que le nombre total des mises en circuit et hors circuit de différentes installations dans la journée sera 5, le premier groupe d'inverseurs aura à effectuer deux révolutions : la mise en circuit d'un groupe d'installations

à 5 heures du soir, leur mise hors circuit à minuit.

Dans ce cas, le collecteur C sera conducteur dans 4/5 de sa surface et isolateur dans 1/5. Si à 5 heures, le balai *m* appuie sur la partie conductrice de la surface du collecteur, le circuit de l'installation sera fermé par le disque Z.

Il est compréhensible qu'entre 5 heures et minuit on peut faire traverser le solénoïde par le courant superposé 3 fois, ce qui fera faire au disque Z une rotation de 3/5 de son tour, mais le balai *m* restant toujours en contact avec la partie conductrice du collecteur, l'installation restera pendant tout ce temps en circuit, et ce n'est qu'après la quatrième émission du courant superposé que le balai *m* cessera d'appuyer sur la partie conductrice du collecteur, et l'installation se mettra hors circuit.

Tous les inverseurs répartis sur le réseau et qui auront une position telle que leurs balais *m*

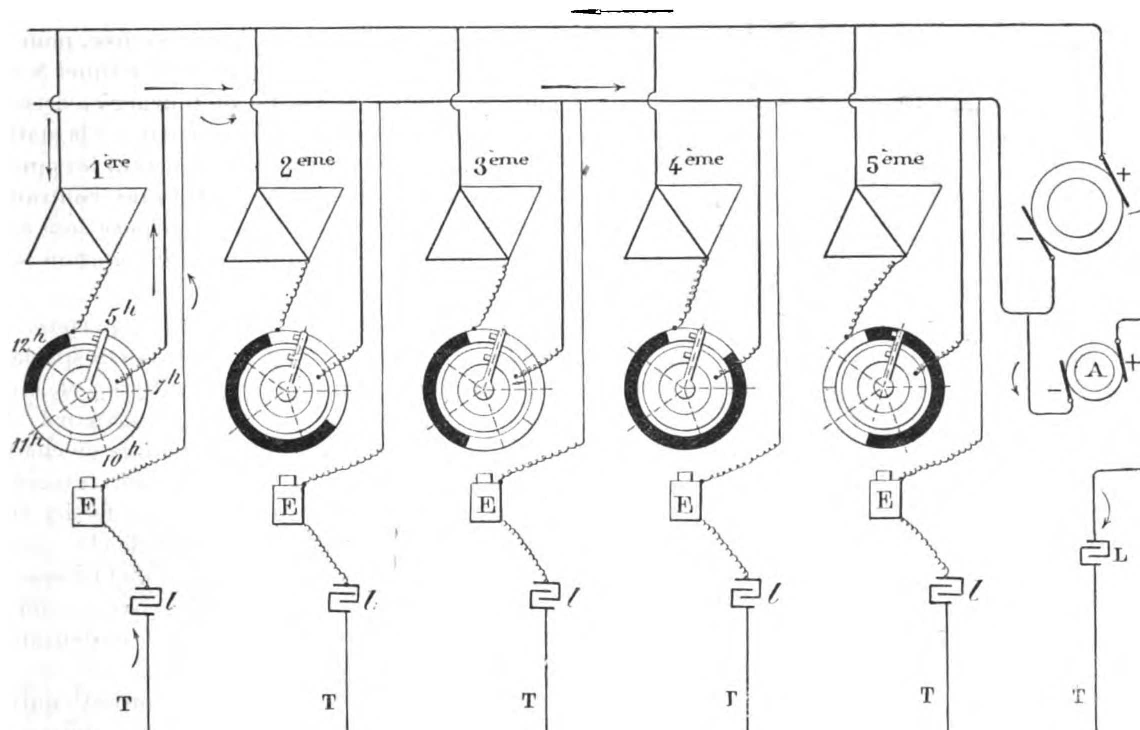


Fig. 2

appuyent sur la partie conductrice du collecteur à 5 heures, fermeront à cette heure le circuit des installations desservies.

Mais si au lieu d'avoir tous les inverseurs avec les disques conducteurs dans 4/5 de leur surface, on a dans le réseau plusieurs groupes avec les disques divisés de façons différentes, chaque groupe d'inverseurs effectuera une action différente.

Exemple : il y a 5 groupes d'inverseurs. Chaque groupe possède une surface conductrice différente : le premier 4/5, le 2me 2/5, le 3me 3/5, le 4me 1/5 et le 5me 2/5 aussi. Tous sont réglés comme l'indique la figure 2. Les balais *n* appuient sur la surface entièrement conductrice, les balais *m* appuient sur les collecteurs.

Le fonctionnement de ce goupe d'inverseurs sera le suivant :

A 5 heures du soir, les 4 premiers groupes d'installations seront en circuit et le 5me hors circuit.

En faisant traverser les solénoïdes de tous les inverseurs par un courant superposé à 7 heures, les 3 premières installations resteront en circuit, et les 2 dernières se mettront hors circuit. Après une nouvelle émission du courant superposé à 10 heures, la 1re et la 3me installations seront en circuit, et la 2me, 4me et 5me hors circuit. Après l'émission de 2 heures, la première et la 5me en circuit et la 2me, 3me et 4me hors circuit. Après minuit, les quatre premières seront hors circuit et la 5me en circuit. A 5 heures de l'après-midi,

toutes les installations se remettront à leur état initial, décrit plus haut.

Ces différents groupes d'inverseurs peuvent être répartis à volonté, leur nombre peut varier, pour obtenir les différents services simultanés.

L'appareil dans son ensemble sera identique

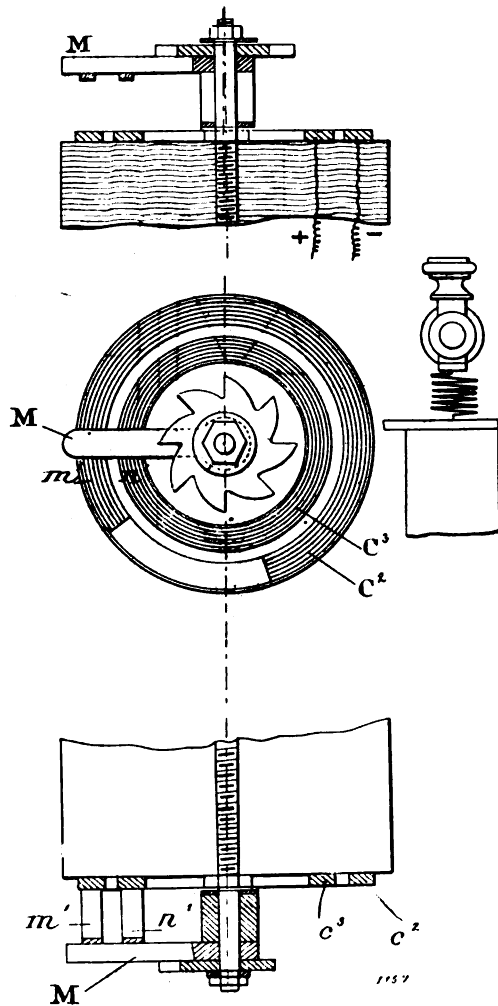


Fig. 3

dans toutes les intallations, et il n'y aura que la répartition des portions conductrices sur la surface des inverseurs qui variera suivant la durée de l'alimentation de chaque groupe d'installations.

Dans la construction de l'appareil, il y a deux solutions pour obtenir un cycle de révolution ; soit que les deux surfaces du disque Z soient mobiles, actionnées par l'électro, le balai fixe comme l'indique la figure I, soit que ces deux surfaces soient fixes, circulaires et concentriques et les balais mobiles comme l'indique la figure III.

Dans ce cas, le collecteur C^2 aura des lames isolatrices et conductrices, et la surface C^3 sera entièrement conductrice ; les balais *m' n'* auront la forme d'une manette M à deux contacts ; *m' n'* reliés électriquement entre eux.

Cette manette M sera fixée sur le même axe avec la roue à rochet R. Les deux surfaces C^2 C^3 seront intercalées dans le circuit à desservir. Le fonctionnement sera le même.

Le premier modèle (fig. 1) est destiné pour le petit débit et le second à surface fixe, pour les grands débits. Dans la figure 1, le cliquet S sert pour empêcher le rochet de tourner en arrière.

Le courant superposé est envoyé à la station centrale, et ce courant est alternatif lorsque le réseau est alimenté par le courant continu et réciproquement le courant superposé sera continu, lorsque le courant d'alimentation sera alternatif.

Fig. 4 : Le courant alternatif surperposé est produit à l'usine par un petit alternateur spécial A intercalé entre le feeder et la terre, et muni dans sa ligne de terre d'un condensateur L. Un autre condensateur I est placé auprès de chaque inverseur, le premier et le second intercalés également en série entre le même feeder et la terre. Le courant alternatif suit le feeder (flèche arrondie), traverse le solénoïde de l'inverseur, et en chargeant et déchargeant les condensateurs, ferme son circuit par la terre et le condensateur de l'usine.

Il est compréhensible que le courant continu d'alimentation (flèche droite) étant interrompu par les condensateurs ne peut avoir aucune action directe sur les solénoïdes des inverseurs, à moins d'être dirigé sur l'électro-aimant de ces appareils par leur relais fonctionnant sous l'action du courant alternatif.

Dans le cas où il y aurait plusieurs inverseurs dans le réseau, il serait même préférable de se servir du courant alternatif superposé pour fermer le relais de l'inverseur, lequel relais fermerait le circuit d'une autre bobine à courant continu, intercalée dans le réseau d'alimentation. Dans ce cas, chaque inverseur serait muni de deux solénoïdes; le 1er actionnant directement la roue à rochet R prendra son courant continu au réseau d'alimentation chaque fois que le second électro-relais aura été traversé par le courant alternatif superposé.

En réduisant ainsi le débit total du courant alternatif, on pourra l'émettre à basse tension, ce qui est avantageux au point de vue de l'isolement des lignes.

On peut, bien entendu, remplacer le retour du courant alternatif superposé par la terre par un fil spécial ou même se servir d'un second feeder de la canalisation, en se servant toujours de condensateurs.

Dans le cas du courant d'alimentation alternatif, les électro-aimants des inverseurs ou leurs relais pourront être actionnés par le courant superposé continu, et, dans ce cas, on ne ferait plus usage de condensateurs, mais on calculerait la self-induction des bobines de telle façon que leur impédance s'oppose au passage du courant alternatif, tout en les laissant sensibles à l'action du courant superposé continu.

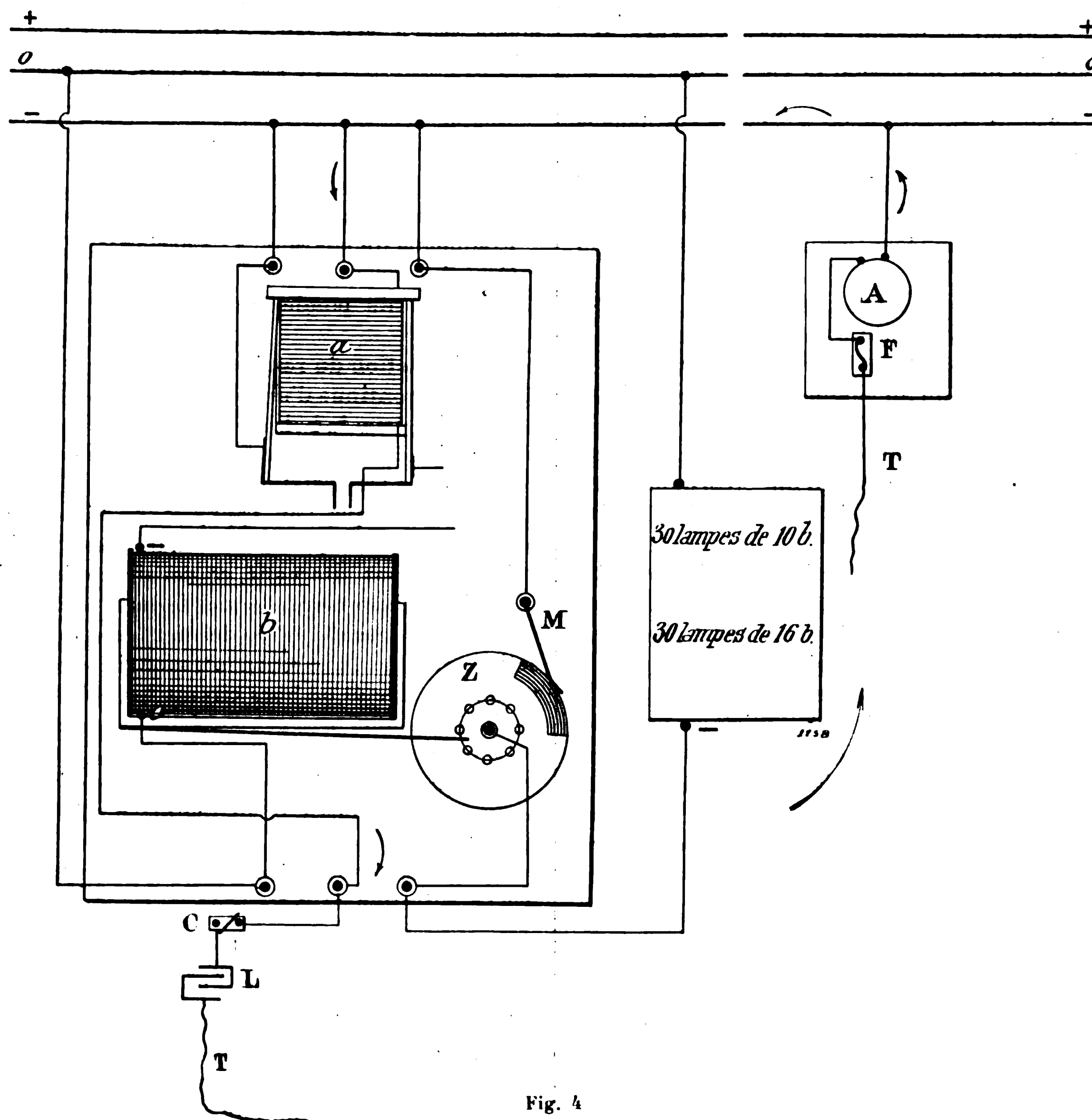


Fig. 4

Les particularités de cet inverseur sont les suivantes :

1°. — Après avoir accompli un tour de révolution déterminé dans son installation, chaque inverseur se remet en son état initial, prêt à recommencer le même cycle d'action.

2°. — La disposition plus haut décrite des disques collecteurs, les différents groupes d'inver-

seurs actionnés par le même courant superposé, effectuent deux actions différentes simultanément et indépendamment l'une de l'autre.

3° La non exigence d'un courant permanent à émission plus ou moins fréquente ou proportionnelle, étant donné qu'on lance le courant superposé seulement lorsqu'on veut provoquer une révolution dans le réseau, ce qui fait que le nombre d'émissions est égal au nombre des révolutions devant être effectuées sur le réseau dans la journée.

La durée d'une émission pouvant être aussi courte que le parcours du courant dans le réseau la consommation du courant superposé devient insignifiante.

4° L'émission à des heures déterminées peut être effectuée, soit par un ouvrier de l'usine, soit par un appareil automatique quelconque.

Son application au compteur d'énergie à intégration continue est la suivante : Les deux extrémités de la résistance de l'induit du compteur, ainsi que les deux bouts d'une résistance fixe, supplémentaire, sont reliés aux balais de l'inverseur.

Chaque fois que les balais appuient sur les parties conductrices de deux surfaces de l'inverseur, elles se trouvent ainsi en court-circuit, le compteur n'aura que sa résistance de l'induit, et chaque fois que l'un des balais cessera d'appuyer sur la partie conductrice, la résistance supplémentaire viendra s'ajouter à la résistance de l'induit du compteur, et la vitesse de ce dernier changera. Par ce moyen, on obtient du même compteur différents tarifs pour la même consommation de l'abonné.

Applications industrielles de l'Inverseur

Fonctionnement (Relevé de l'essai public).

A la station un alternateur A était branché par un pôle au feeder négatif du réseau électrique et par l'autre pôle, il a été mis à la terre à travers un fil fusible. L'inverseur a été placé à 2 kilomètres et demi de la station.

Le relais *a* de l'inverseur a été branché par un pôle au feeder négatif du réseau électrique et par l'autre pôle, il a été mis à la terre à travers un interrupteur à contact *e* et un petit condensateur L à feuilles d'étain. L'électro-aimant B actionnant le disque tournant *z* a été branché en dérivation sur un pont du réseau. Le disque tournant *z* et son balai M intercalé dans le circuit servait d'interrupteur à l'installation de 100 lampes de 16 bougies. Cette installation était également branchée sur un pont du réseau.

Par conséquent les deux circuits, celui de l'installation de 100 lampes et celui de la bobine *b* de l'électro-aimant, étaient branchés sur le même réseau, avec cette différence que le premier était interrompu par le disque tournant et son balai, tandis que l'autre l'était par le relais *a*.

Régime du fonctionnement :

Tension alternative, 40 volts.

Intensité du courant alternatif 15 milli-ampères.

Fréquence du courant, 17,5 périodes.

Capacité du condensateur, 1,65 microfarads.

Dimensions du condensateur 14 cm. × 11 cm. × 2 cm.

Self-induction du relais : 51 henrys.

Tension continue d'un pont 225 volts.

Intensité dans la bobine *b* : 0,5 A.

Intensité du courant mis en marche par l'inverseur dans l'installation : 23 Ampères.

Chaque fois que l'on appuyait sur l'interrupteur à contact *e* et que l'on fermait ainsi le circuit du courant alternatif, ce dernier actionnait le relais de l'inverseur, lequel fermait le circuit de l'électro-aimant *b* et ce dernier à son tour, en actionnant le disque tournant, mettait alternativement en circuit ou hors circuit les 100 lampes de l'installation.

Le parcours du courant alternatif est : alternateur, feeder, le relais *a*, l'interrupteur *e*, le condensateur L, la terre, le fil fusible F, l'alternateur.

La résonance du circuit alternatif s'obtient par l'application de la formule :

$$L_s = \frac{1}{c \cdot 10^{-6}\, w^2}$$

L_s étant la self-induction en henrys.

c = capacité en microfarads.

ω = pulsation du courant.

En application, on a obtenu :

$$51 = \frac{1}{1{,}65 \cdot 10^{-6}\, \overline{108{,}9}^2} = 51.$$

Applications :

Cet appareil fonctionne à distance, sans aucun fil spécial, sous l'action du courant superposé alternatif ou continu.

Il peut servir à :

I. L'allumage et l'extinction des lampes sur les voies publiques. — Etant donné que l'allumage et l'extinction à des heures convenues s'opèrent de l'Usine Centrale à distance, on supprime, grâce à l'application de ces appareils, la canalisation spéciale de l'éclairage public ainsi que le service d'allumeurs.

Pour assurer ce service on dépense actuellement dans une ville de 100.000 habitants environ une somme de 16.000 fr. payée à 14 allumeurs; d'autre part, l'amortissement d'une canalisation spéciale s'élève à 10.000 fr. par an.

II. L'allumage et l'extinction de l'éclairage à forfait chez les abonnés. — L'application de l'inverseur à ce service supprime dans bien des cas l'emploi des compteurs et d'appareils à mouvement d'horlogerie.

On a évalué à 600 environ le nombre de maisons de rapport dans une grande ville de province qui ne peuvent pas éclairer leurs escaliers au compteur, ces maisons n'ayant pas de concierges, qu'on pourrait charger de l'allumage et de l'extinction à des heures convenues.

De crainte des abus ou de la négligence de la part de locataires, les stations centrales ne peuvent pas donner le courant à forfait, et pour les mêmes raisons les propriétaires ne veulent pas éclairer les escaliers de leurs immeubles au compteur. L'application de l'inverseur supprime ces inconvénients et peut ainsi attirer une nouvelle catégorie d'abonnés.

III. — Tarification mobile. — Actuellement les usines électriques produisent le courant pendant 4 ou 5 heures de la soirée et même si elles travaillaient en pleine charge pendant 3 heures seulement, elles produiraient la totalité de leur vente journalière.

Donc cette production de 4 ou 5 heures paye les frais de fabrication, les frais généraux et le bénéfice du capital engagé. Le matériel de l'usine reste inusité pendant près de 20 heures, ce qui fait que le kilowatt heure, dont le prix de revient annuel est en moyenne de 15 centimes, se vend de 0 fr. 70 à 1 fr. 20.

Etant donné cet écart entre les deux prix, et le fait que la vente de la soirée suffit actuellement pour assurer l'existence de l'usine, le fabricant aurait grand intérêt de vendre dans la journée le courant au prix inférieur composé uniquement de frais de production et d'un bénéfice sans compter les frais généraux.

En vendant le kilowatt-heure à 30 centimes, on rend l'électricité commercialement applicable à la force motrice et au chauffage, tout en laissant au capital un bénéfice net de 15 centimes environ par kilowatt-heure.

Ces deux applications peuvent utiliser le matériel de l'usine pendant la journée et augmenter considérablement les bénéfices.

La question de la tarification mobile est agitée dans le monde des électriciens ; ce qui retarde son application, c'est la difficulté d'établir des compteurs pratiques à cet usage.

Les compteurs à intégration discontinue paraissent remplir ce but, mais leur fonctionnement présente de grands inconvénients par suite de la fréquence très grande du courant d'intégration.

Ensuite leur emploi exige la mise hors service de tous les compteurs à intégration continue déjà installés.

L'inverseur à courant superposé n'exige ni la suppression des appareils actuellement employés, ni aucune canalisation spéciale.

Son adjonction à *un compteur quelconque couple-moteur* avec une résistance fixe supplémentaire, rend ce dernier mobile et lui permet de totaliser la consommation à des prix différents, convenus, non seulement suivant les différentes heures de la journée, mais également suivant le genre d'abonnés. Il permet, en outre, d'enregistrer la totalisation entière au tarif maximum, et, en même temps, au tarif réduit, de sorte que l'usine peut se rendre compte, combien d'électricité elle a vendu au tarif maximum et combien au tarif réduit, et l'abonné peut à tout moment savoir quelle économie il a réalisée grâce à l'application de la tarification mobile.

L'application de l'inverseur au compteur d'énergie se fera par le montage suivant :

La bobine *s* est une bobine fixe supplémentaire, étalonnée suivant la vitesse que l'on désire obtenir dans le compteur. Elle est en série avec la bobine B^1 de l'induit lorsque la manette du disque tournant est en B. La position A la met hors circuit de la bobine B^1.

La manœuvre se fait de l'usine à des heures convenues.

B. B.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

***Sur les projets de transformateurs* Müller.** — Zeitschrift für Electrotechnik. 17 juillet.

Dans un projet de transformateur, il faut déterminer en premier lieu les dimensions des noyaux de fer parce que non seulement la puissance du transformateur, mais encore divers autres facteurs dépendent de ce choix. Les dimensions des noyaux de fer doivent satisfaire à des conditions différentes et en partie contradictoires : la longueur doit permettre le placement facile des bobines ; la section doit être suffisante pour assurer le passage du flux sans pertes sensibles, et en même temps, au point de vue des pertes dans le cuivre, la longueur moyenne d'un tour de fil doit être aussi faible que possible. Il est impossible de satisfaire à toutes ces conditions, ensemble et il faut, dans chaque cas particulier, en sacrifier une partie en prenant toujours comme règle principale de réduire au minimum les pertes totales pour obtenir un rendement élevé et un faible échauffement.

Une fois l'emplacement nécessaire aux enroulements et, par suite, les longueurs de fer déterminées, il reste à fixer la valeur de la section. Plus la section des culasses est forte, plus est faible la section des noyaux, pour un même volume de fer. Admettons que les sections Q_1 et Q_2, soient le siège d'induction maxima B_1 ou B_2 : les pertes d'énergie causées dans les volumes de fer V_1 et V_2 sont

$$P_e = V_1(\alpha B_1^{1,6} + \beta B_1^2) + V_2(\alpha B_2^{1,6} + \beta B_2^2) \quad (1)$$

α et β représentant des coefficients.

Soient Φ_1 et Φ_2 les flux, L_1 et L_2 les longueurs de fer : l'expression précédente peut aussi être mise sous la forme :

$$P_e = \alpha \Phi_1^{1,6} l_1 Q_1^{-0,6} + \beta \Phi_1^2 l_1 Q_1^{-1}$$
$$+ \alpha \Phi_2^{1,6} l_2^{1,6} (K - l_1 Q_1)^{-0,6} + \beta \Phi_2^2 l_2^2 (K - l_1 Q_1)^{-1} \alpha$$

en désignant par K la somme $V_1 + V_2 = l_1 Q_1 + l_2 Q_2$ supposée constante.

Les pertes dans le cuivre se composent de deux parties : les pertes joule dues à la résistance ohmique et les pertes accessoires.

Les pertes joule sont, toutes autres conditions restant les mêmes, proportionnelles à la longueur moyenne d'un tour de fil. Ces pertes peuvent être mises sous la forme :

$$S = a + b\sqrt{Q_1} \quad (2)$$

où Q_1 désigne la section du noyau entouré par les bobines, a et b des coefficients dépendant de la grandeur et des proportions du transformateur. Les pertes accessoires sont produites dans les bobines et les parties métalliques par les courants de Foucault dûs aux flux de dispersion. Quoique il ne soit pas possible de déterminer théoriquement la valeur de ces pertes, car elles dépendent non seulement de la disposition géométrique des bobines mais aussi de la construction du transformateur, on peut en tenir compte dans le calcul en multipliant les pertes Joule par un facteur déterminé expérimentalement, et dont la valeur est comprise en général entre 1,04 et 1,2. Soit V ce facteur ; on a alors pour les pertes dans le cuivre l'expression

$$P_k = \gamma(a + b\sqrt{Q_2}) \quad (3)$$

Les équations de conditions pour la valeur minima des pertes totales sont alors :

$$\frac{d(P_e + P_k)}{dQ_1} = -0,6\,\alpha \Phi_1^{1,6} Q_1^{-1,6} - \beta \Phi_1^2 Q_1^2 +$$
$$0,6\,\alpha \Phi_2^{1,6} Q_2^{-1,6} + \beta \Phi_2 Q_2^{-2} + \frac{\gamma b Q_1^{-\frac{1}{2}}}{2 l_1} = 0$$

ou

$$0,6\,\alpha B_1^{1,6} + \beta B_1^2 = 0,6\,\alpha B_2^{1,6} + \beta B_2^2 + \frac{\gamma b Q_1^{-\frac{1}{2}}}{2 l_1} \quad (4)$$

L'équation de condition montre que les inductions B_1 et B_2 doivent être d'autant plus différentes l'une de l'autre que la valeur du quotient

$$\frac{\gamma b Q_1^{-\frac{1}{2}}}{2 l_1}$$

est plus grande.

Si l'on choisissait les sections de fer de manière que dans chaque partie du circuit magnétique il y ait la même induction, les pertes dans le fer seraient minima, mais non les pertes totales. Pour pouvoir déterminer les bonnes proportions des sections de fer ou les inductions les plus avantageuses, il faut préalablement faire

une simplification de l'équation de condition (4), en introduisant la valeur moyenne du rapport entre les pertes par courant de Foucault et les pertes par hystérésis. Comme ce rapport est compris entre 1/2 et 1/6 environ pour les inductions habituellement adoptées dans les transformateurs usuels, c'est-à-dire en moyenne 1/3, on peut poser :

$$\beta B_1^2 = \frac{\alpha B_1^{1,6}}{3}$$

d'où

$$0,6\ \alpha B_1^{1,6} + \beta B_1^2 = 0,933\ \alpha B_1^{1,6}$$

on obtient de même

$$0,6\ \alpha B_2^{1,6} + \beta B_2^2 = 0,933\ \alpha B_2^{1,6}$$

Nous pouvons alors, avec une approximation suffisante, mettre l'équation de condition (4) sous la forme :

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma b Q_1^{-\frac{1}{2}}}{1.866\ l_1 \alpha B_1^{1,6}}\right)^{\frac{1}{1,6}}} \qquad (5)$$

Comme le coefficient b et la longueur de fer l_1 croissent avec la grandeur du transformateur et que le produit $\alpha B^{1,6}$, doit être à peu près inversement proportionnel à la racine carrée de la section de fer, au point de vue de l'échauffement, on peut admettre que le quotient :

$$\frac{\gamma b Q_1^{-\frac{1}{2}}}{1,866\ l_1 \alpha B_1^{1,6}}$$

reste approximativement constant.

En réalité, les données de construction de transformateurs calculées pour des puissances de 2 à 300 kilowatts ont montré que, même dans cet intervalle relativement grand, la valeur de ce quotient n'a varié que de 0,797 à 0, 736. En introduisant ces valeurs dans l'équation 5 on trouve :

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{(1 - 0,797)^{\frac{1}{1.6}}} = 2,7$$

ou

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{(1 - 0,736)^{\frac{1}{1,6}}} = 2,3$$

soit en moyenne :

$$\frac{B_1}{B_2} = 2,5. \qquad (6)$$

On en déduit la règle pratique suivante :

Il faut choisir pour l'induction dans les noyaux qu'entourent les bobines, une valeur 2 fois 1/2 plus forte que dans les culasses.

Quoique cette règle ait principalement pour but de servir de point de départ pour un premier avant-projet, les valeurs calculées en s'appuyant sur elle n'ont besoin, dans la plupart des cas, d'aucune correction, parce que la fonction $(P_e + P_k)$ varie peu dans le voisinage de sa valeur minima et que, par suite, de faibles écarts n'ont qu'une influence insignifiante sur le résultat.

Nous allons maintenant examiner la question de savoir comment les pertes doivent être réparties dans un transformateur dont toutes les dimensions sont déterminées pour obtenir la plus grande puissance possible par rapport aux pertes totales, c'est-à-dire une utilisation aussi parfaite que possible des matériaux actifs.

La f. e. m. efficace induite par phase dans l'enroulement primaire est :

$$e_1 = 4f \infty\ n_1 \Phi_1 10^{-8} \text{ volts}$$

en désignant par f le facteur de forme de la courbe de tension primaire

∞ la fréquence

n_1 le nombre des tours primaires

Φ_1 la valeur maxima du flux

La f. e. m. induite dans l'enroulement secondaire est :

$$e_2 = 4f \infty\ n_2 \frac{\Phi_1}{\nu} 10^{-8} \text{ volts}$$

en désignant par n_2 le nombre de tours secondaires et V le coefficient de dispersion.

Si de plus i_2 est la valeur efficace du courant secondaire en ampères, la puissance secondaire par phase est

$$A_2 = e_2 i_2 = 4f \infty\ n_2 i_2 \frac{\Phi_1}{\nu} 10^{-8} \text{ volt-ampères}$$

car dans un transformateur bien construit la chute de tension ohmique est extrêmement faible par rapport à la différence de potentiel aux bornes.

De l'équation précédente on tire :

$$i_2 = \frac{\nu A_2}{4f \infty\ n_2 \Phi_1 10^{-8}}$$

Si F_2 est la section de l'espace qu'occupent les enroulements, K_2 le facteur d'utilisation de l'espace, ρ la résistance spécifique, Q_2 la section des conducteurs et L_2 la longueur moyenne des

****

tours secondaires, nous pouvons exprimer la perte Joule S_2 dans l'enroulement secondaire par les relations suivantes :

$$S_2 = i_2^2 \frac{\rho n_2 L_2}{q_2} = i_2^2 \frac{\rho n_2^2 L_2}{K_2 F_2} = \frac{\rho L_2}{K_2 F_2} \left(\frac{\nu A_2}{4f \infty \Phi_1 10^{-8}} \right)^2$$

Posons :

$$\Phi_1 = B_1 Q_1 \text{ et } \frac{\rho L_2}{K_2 F_2} \left(\frac{\nu}{4f \infty Q_1 10^{-8}} \right)^2 = C_2 ;$$

nous obtenons finalement :

$$S_2 = C_2 \frac{A_2^2}{B_1^2}$$

De même on obtient pour la perte joule primaire :

$$S_1 = C_1 \frac{A_2^2}{B_1^2}$$

Les pertes totales dans le cuivre d'un transformateur à m phases de dimensions données sont alors

$$P_k = m\gamma (C_1 + C_2) \frac{A_2^2}{B_1^2}$$

Posons dans l'équation (1) :

$$B_2^{1,6} = B_1^{1,6} \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{1,6} \text{ et } B_2^2 = B_1^2 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2$$

il vient, pour les pertes totales :

$$P_e + P_k = V_1 (\alpha B_1^{1,6} + \beta B_1^2) + V_2 \left[\alpha B_1^{1,6} \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{1,6} + \beta B_1^2 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \right] + m\gamma (C_1 + C^2) \frac{A_2^2}{B_1^2}$$

En formant et annulant la différentielle $\frac{dA_2}{dB_1}$ on obtient après quelques transformations

$$P_k = V_1 (0{,}8\alpha B_1^{1,6} + \beta B_1^2) + V_2 \left[0{,}8\alpha B_1^{1,6} \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{1,6} + \beta B_1^2 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \right]$$

d'où :

$$A_2 \sqrt{\frac{(P_e + P_k) B_1^2 - V_1 (\alpha B_1^{3,6} + \beta B_1^4) - V_2 \left[\alpha B_1^{3,6} \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{1,6} + \beta B_1^4 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \right]}{m\gamma (C_1 + C_2)}}$$

Cette équation de condition pour la répartition la plus favorable des pertes est valable d'une façon absolument générale, et, par conséquent, même dans le cas où les sections de fer Q_1 et Q_2 ont la même valeur.

Pour donner au résultat trouvé une forme plus simple pour son emploi pratique, posons :

$$P_k = \gamma S \quad \text{où} \quad S = m(S_1 + S_2)$$

c'est-à-dire représente la somme des pertes joule.

De plus, en faisant le rapport des pertes par courants de Foucault aux pertes par hystérésis

$$\frac{V_1 \beta B_1^2 + V_2 \beta B_2^2}{V_1 \alpha B_1^{1,6} + V_2 \alpha B_2^{1,6}} = r$$

nous pouvons écrire aussi

$$0{,}8 \left[V_1 \alpha B_1^{1,6} + V_2 \alpha B_1^{1,6} \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{1,6} \right] + V_1 \beta B_1^2 + V_2 \beta B_1^2 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 = \left(\frac{0{,}8 + r}{1 + r} \right) P_e$$

Il en résulte que le facteur $\frac{0{,}8 + r}{1 + r}$ n'est que peu influencé par la valeur du rapport r.

Comme les pertes par courants de Foucault dans les transformateurs sont en moyenne le 1/3 des pertes par hystérésis, nous pouvons écrire avec une exactitude suffisante :

$$\frac{0{,}8 + r}{1 + r} = \frac{0{,}8 + 0{,}33}{1{,}33} = 0{,}85.$$

Pour n'avoir pas à calculer toujours avec le coefficient, introduisons la valeur moyenne 1,12 indiquée précédemment ; nous obtenons

$$P_k = 1{,}12 S = 0{,}85 P_e$$

ou

$$S = 0{,}76 P_e$$

Nous pouvons donc dire :

Pour une même valeur des pertes totales et pour des dimensions données d'un transformateur, la puissance et l'utilisation des matériaux actifs sont maxima lorsque les pertes Joule sont de 24 % inférieures aux pertes totales dans le fer.

Un certain nombre de constructeurs font en sorte que les pertes dans le fer soient plus faibles que les pertes dans le cuivre pour obtenir un bon rendement annuel pour une charge fortement variable. Cela a d'autre part l'inconvénient que l'auto-régulation du transformateur est plus mauvaise et les frais de construction plus élevés. La diminution des pertes dans le fer est donc avantageuse pour la station centrale, mais désavantageuse pour les consommateurs et les fabricants.

E. B

Les Condensateurs à haute tension **par J. Moscicki.**

(suite et fin).

Instruments de mesure et courants employés. — I. *Ampèremètres.* — Les instruments employés pour mesurer l'intensité du courant appartiennent à quatre types différents.

a) Pour le courant continu, un galvanomètre universel de Siemens et Halske, gradué jusqu'à 150 milli-ampères, qui donnait 1,5 ampères à l'aide de son shunt de 1/9 Ω ; sa graduation permettait la lecture du 1/100 d'ampère. Il tient lieu d'étalon pour les autres ampèremètres.

b) Pour le courant alternatif de 50 périodes par seconde, un milli-ampèremètre de Siemens et Halske étalonné à l'aide du galvanomètre universel ; sa graduation, divisée en 1/5 de milli-ampère, allait de 6 à 30 milli-ampères.

c) Pour le courant alternatif à haute fréquence (2000 à 10000 périodes) et pour des intensités de 1,1 à 0,5 ampère, un ampèremètre à fil de résistance, système Hartmann et Braun, avec divisions en 1/100 d'ampère ; avec cet instrument, il faut tenir compte des corrections indiquées par la table suivante :

LECTURE AU GALVANOMÈTRE UNIVERSEL :	LECTURE A L'AMPÈREMÈTRE HARTMANN ET BRAUN
0.115	0.11
0.148	0.14
0.2055	0.1975
0.2505	0.24
0.324	0.311
0.4	0.3885
0.5	0.482

d) Pour le courant alternatif à haute fréquence dont l'intensité est inférieure à 0, 1 ampère, nous avons construit un ampèremètre spécial que nous allons rapidement décrire. Cet instrument est basé sur la dilatation du corps en contact avec un conducteur parcouru par un courant. Dans le cas particulier, ce corps est de l'huile de paraffine qui en se dilatant, produit une pression sur le mercure contenu dans une cuvette ; ce liquide se déverse alors dans un godet, par un tube capillaire, en quantité proportionnelle à la chaleur dégagée i^2r, donc aussi au carré de l'intensité efficace du courant. Un fil de manganine de 0, 1 m/m de diamètre donne lieu à une résistance de 1000 Ω. L'équilibre est maintenu à l'aide du godet de mercure placé sous le tube capillaire (fig. 10). Immédiatement avant l'expérience, on retire ce récipient pour le remplacer

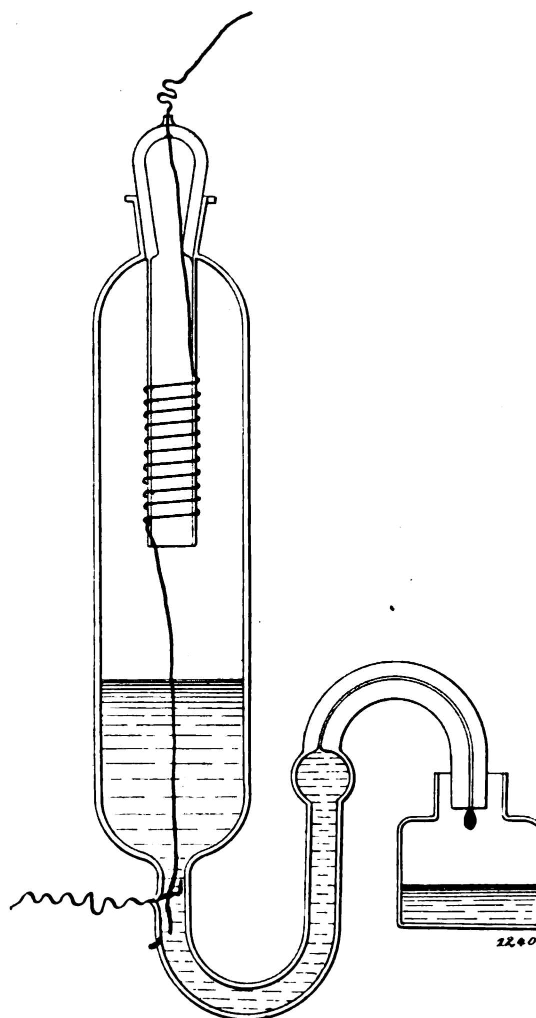


Fig. 10

par un autre soigneusement pesé au préalable et ne contenant pas de mercure. On relie ensuite durant cinq minutes l'ampèremètre à une source électrique fournissant un courant d'intensité connue. On ouvre enfin le circuit et l'on pèse le godet avec le mercure qui s'est déversé pendant l'établissement du courant. Des pesées semblables, faites sous l'action d'un courant continu, permettent de graduer l'instrument par comparaison avec le galvanomètre universel Siemens et Halske ; ajoutons qu'on ne ferme le circuit qu'à intervalles assez éloignés, afin que l'ampèremètre reprenne la température de l'air ambiant

et que le mercure revienne à sa position d'équilibre dans le tube capillaire.

La table suivante indique le poids du mercure correspondant à l'intensité du courant exprimée en ampères par le galvanomètre étalon.

LECTURE AU GALVANOMÈTRE UNIVERSEL SIEMENS ET HALSKE, EN AMPÈRES	POIDS DE MERCURE DÉPOSÉ APRÈS UNE EXPÉRIENCE D'UNE DURÉE DE 5 MIN. EN GRAM.
0.03480	1.4300
0.04805	2.7164
0.05070	3.0730
0.06775	5.1341
0.07745	6.8153
0.08395	7.8311
0.09185	9.3935
0.10475	12.0370
0.14035	22.0118

II. *Voltmètres.* — Pour le courant continu' nous disposons d'un volmètre Weston gradué par 3 ou 30 volts, avec divisions secondaires de 0,002 volt. L'instrument de Hartmann et Braun, dont nous avons parlé dans la première partie de ce mémoire, était employé avec le courant alternatif.

III. *Thermomètres.* — Deux thermomètres étaient nécessaires : l'un donnait la température à l'intérieur du condensateur et comportait une graduation en 5/100 de degré jusqu'à 22° C ; l'autre indiquait la température de l'air ambiant en 2/10 de degré jusqu'à + 100° C.

IV. *Sources d'électricité* — *a)* Ainsi que nous l'avons dit précédemment, le courant continu est fourni par une batterie d'accumulateurs de 110 volts ; sa distribution était réglée par un rhéostat à lampes.

b) Le courant alternatif de 160 volts, à la fréquence normale de 50 périodes par seconde, est livré par la station centrale de Hauterive et transformé à la tension demandée à l'aide du transformateur de 10 Kw. que nous avons déjà mentionné.

c) Enfin le courant alternatif à haute fréquence est obtenu avec la génératrice Thury décrite dans la première partie de ce mémoire. Rappelons que pour augmenter le voltage, on emploie un transformateur Alioth de 2 Kw. modèle Helvetia.

Les tables suivantes montrent que les valeurs en °/o des pertes augmentent aux hautes tensions bien que les observations 3, 4 et 5 de la table *Ib* P. 41 fournissent des indications contradictoires. Ces inexactitudes proviennent du fait que l'intensité n'a été mesurée directement au milli-ampèremètre que pour les observations 5, 6, 7, tandis qu'elle a été déterminée pour les autres à l'aide du chiffre obtenu à 8.000 volts, en admettant une proportionnalité parfaite entre la tension et l'intensité. Or ce procédé donne lieu à trois causes d'erreur : 1° les irrégularités du courant fourni par la station centrale par suite d'un réglage insuffisant du nombre de tours de la génératrice ; 2° la modification de la courbe sinusoïdale du courant avec la dépense d'énergie de l'usine ; 3° le changement de capacité du condensateur avec la tension à laquelle il est soumis. Pour se rendre compte de l'effet produit par ces erreurs, il suffit de comparer les trois observations suivantes effectuées à une tension de 8.000 volts à des dates différentes :

29 avril........ 10,2 milli-ampères
30 » .... 9,6 »
1er mai........ 9,6 »

COMPARAISON DES MESURES

CONDENSATEUR N° 1

a) Mesures avec courant continu prises sur l'armature extérieure

TABLE I (*a*)

NUMÉRO DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	INTENSITÉ DU COURANT SUR L'ARMATURE EN AMPÈRES	CHUTE MOYENNE DE TENSION SUR L'ARMATURE EN VOLTS	ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN WATTS ABSORBÉE PAR L'ARMATURE	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	τ	*t*	Δ*t*	I	V	*v*I	T
1	9.9	9.875	0.2975	0.220	0 536	0.118	300
2	11.25	10.75	0.4000	0.257	0.6255	0.1607	»
3	11.4	11.3	0.625	0.3422	0 839	0.2874	»
4	11.4	11.4	0.82	0.394	0.959	0.3778	»
5	10.6	11.1	1.025	0.440	1.074	0.4725	»
6	10.6	11.175	1.295	0 496	1.2085	0.5994	»
7	10.9	11.35	1.600	0.550	1.339	0.736	»
8	10.6	11.20	1.825	0.589	1.433	0.844	»
9	10.1	11.10	2.200	0.640	1.555	0.995	»
10	10.9	11.075	2.575	0.6915	1.69	1.169	»
11	10.7	11.05	2.925	0.745	1.822	1 357	»
12	10.7	11.05	2.400	0.745	1.822	1.357	240
13	12.1	12.16	2.640	0.798	1.9475	1.554	»
14	10.35	10.40	3.000	0 840	2.0485	1.721	»
15	11.7	10.402	3.148	0.870	2.135	1.857	»
16	11 3	11.65	3.450	0.922	2.269	2.092	»
17	12.1	12.10	3.775	0.993	2.439	2.422	»

b) Mesures avec le courant alternatif à 50 périodes par seconde

TABLE I (*b*)

N° DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	INTENSITÉ DU COURANT EN MILLI-AMPÈRES	TENSION D'ÉPREUVE DU CONDENSATEUR EN VOLTS	NOMBRE DE WATTS APPARENTS $2\pi f v^2 C$	PERTES D'ÉNERGIE DU CONDENSATEUR EN WATTS	PERTES EN °/. DES WATTS APPARENTS	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	τ	*t*	Δ t	10.J	*v*	I.*v*	I.*v*. cos φ	100 cos φ s °/.	T
1	13.0	13.075	0.54	4.8	4 000	19.2	0.2395	1.245	300
2	13.5	13.6	0.819	6.0	5 000	30.0	0.3774	1.257	300
3	13.6	13 675	1.275	7.2	6 000	43.2	0.59	1.365	300
4	13.8	13.95	1.7	8.4	7 000	58.8	0.784	1.33	300
5	13.4	13.8	2.225	9.6	8 000	76.8	1.007	1.31	300
6	13.3	13.68	2.92	10.8	9 000	97.2	1.354	1.393	300
7	12.6	12.65	2.91	11.8	10 000	118.0	1.679	1.42	240
8	13.2	13.2	3.715	13.0	11 000	143.0	2.361	1.65	240

CONDENSATEUR N° 2

a) Mesures avec courant continu prises sur l'armature extérieure

TABLE II (*a*)

NUMÉRO DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	INTENSITÉ DU COURANT SUR L'ARMATURE EN AMPÈRES	CHUTE MOYENNE DE TENSION SUR L'ARMATURE EN VOLTS	ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ABSORBÉE PAR L'ARMATURE EN VOLTS	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	τ	t	Δt	I	v	$I.v$	T
1	17.1	17.4	0.715	0.2645	0.3597	0.0951	600
2	17.9	17.96	0.88	0.290	0.4062	0.1178	»
3	16.7	16.8	0.60	0.3425	0.4536	0.1553	300
4	15.9	15.95	0.785	0.390	0.5255	0.205	»
5	16 2	16.26	1.35	0.520	0.699	0.3635	»
6	16.8	16.95	1.70	0.5875	0.7954	0.4673	»
7	17.55	17.86	2.20	0.698	0.955	0.6666	»
8	17.3	17.75	2.74	0.780	1.1104	0.866	»
9	17.6	17.8	3.60	0.9245	1.285	1.188	»
10	16.2	16.225	4.235	0.991	1 381	1.370	»
11	16.6	16.72	4.705	1.0615	1.510	1.603	»
12	16.6	16.72	3.03	1.0615	1.510	1.603	180
13	16.6	16.64	3.63	1.166	1.671	1.950	»
14	16.6	16.64	5.61	1.166	1.671	1.950	300
15	16.85	17.15	4.25	1.2575	1.787	2.247	180
16	16.85	17.15	5.30	1.2575	1.787	2.247	240
17	16.3	16.3	5.00	1.370	1.872	2 565	180
18	16.3	16.3	6 30	1.370	1.872	2.565	240

b) Mesures avec le courant alternatif à 50 périodes par seconde

TABLE II (*b*)

N° DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	INTENSITÉ DU COURANT EN MILLI-AMPÈRES	TENSION D'ÉPREUVE DU CONDENSATEUR EN VOLTS	NOMBRE DE WATTS APPARENTS $2\pi f v^2 C$	PERTES D'ÉNERGIE DU CONDENSATEUR EN WATTS	PERTES EN % DES WATTS APPARENTS	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	τ	t	Δt	10.I	v	vI	v. I $\cos\varphi$	100 $\cos\varphi$	T
1	17.25	17.35	0.385	2.45	2.255	5.525	0.0484	0.875	600
2	17.45	17.665	0.600	4.35	4.000	17.40	0.1553	0.894	300
3	17.5	17.912	2.500	8.80	8.000	70.4	0.777	1.1	300
4	17.5	17.85	4.045	11.55	10.909	125.0	1.691	1.34	240

CONDENSATEUR N° 3

a) Mesures avec le courant continu prises sur l'armature extérieure

TABLE III (*a*)

N° DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	INTENSITÉ DU COURANT PRISE SUR L'ARMATURE EN AMPÈRES	CHUTE MOYENNE DE TENSION SUR L'ARMATURE EN VOLTS	ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ABSORBÉE PAR L'ARMATURE EN WATTS	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	τ	t	Δt	I	v	vI.	T
1	17.5	17.65	1.02	0.2695	1.3396	0.361	300
2	17.5	17.751	1.974	0.371	1.898	0.704	300
3	17.1	17.362	2.988	0.45	2.363	1.0635	300

b) Mesures avec le courant alternatif à 50 périodes par seconde

TABLE III (*b*)

N° DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	INTENSITÉ DU COURANT EN MILLI-AMPÈRES	TENSION D'ÉPREUVE DU CONDENSATEUR EN VOLTS	NOMBRE DE WATTS APPARENTS $2\pi f v^2 C$	PERTES D'ÉNERGIE DU CONDENSATEUR EN WATTS	PERTES EN °/₀ DES WATTS APPARENTS	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	τ	t	Δt	10 I.	v	Iv	Iv cos φ	100 cos φ 8 °/₀	T
1	17.45	17.49	1.18	6.5	8 000	52	0.4185	0.805	300
2	16.6	16.775	2.285	8.8	10 909	96	0.814	0.850	300

Il ressort clairement de l'examen de ces tables que les pertes en °/₀ augmentent avec la tension; mais il convient d'observer encore que, pour une même tension, les pertes des condensateurs N°ˢ II et III sont toujours inférieures à celles du condensateur N° I (table I *b*). Cette constatation nous a conduit à l'hypothèse d'une relation entre les pertes et l'épaisseur du verre, qui varient en rapport inverse pour une tension constante. Cette loi s'est parfaitement confirmée au cours des expériences faites avec notre condensateur N° III à fortes parois.

Mesures avec le courant alternatif à haute fréquence.— Le courant était fourni par une génératrice Thury dont l'inducteur était groupé en série avec un rhéostat de résistance variable (fig. 11). On reliait à l'enroulement à basse tension du transformateur un voltmètre Hartmann et Braun et un interrupteur bipolaire, tandis que le circuit à haute tension était réuni à un condensateur, et, selon les cas, à un ampèremètre à mercure ou à un ampèremètre Hartmann et Braun. Les données de la table IV montrent que les pertes exprimées en °/₀ des watts apparents $2\pi f C v^2$ croissent avec le nombre de périodes et que, toutes choses égales d'ailleurs, elles sont plus faibles pour le condensateur N° III à paroi épaisse que pour le condensateur N° II.

Mesures des pertes dues à la conductibilité du diélectrique sous l'action du courant continu. — Pour évaluer les pertes, dues exclusivement à la conductibilité du diélectrique, on chargeait pendant cinq minutes le condensateur N° I avec du courant continu en le reliant à une machine à influence de Wimshurst. Pour une température de l'air ambiant $\tau = 16°,6$, la température du mercure con-

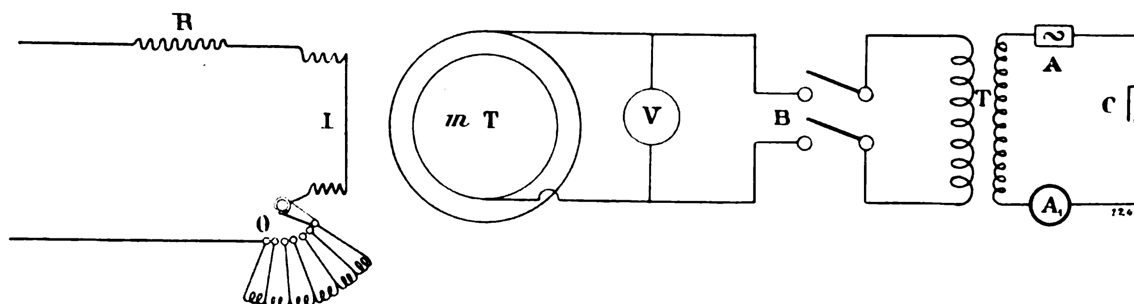


Fig. 11

tenu dans le tube s'élevait de 16°,9 à 17°,365; d'où un écart $st = 0°,465$ correspondant à une énergie de 0,1973 watts. Pour comparer ces pertes avec celles que l'on observe avec du courant alternatif de 8,000 volts à 50 périodes, il fallait mesurer la tension aux armatures du condensateur chargé

TABLE IV

CONDENSATEUR N° 2

N° DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	NOMBRE DES PÉRIODES PAR SECONDE $\frac{200n}{60}$	INTENSITÉ DU COURANT EN AMPÈRES	TENSION D'ÉPREUVE EN VOLTS	NOMBRE DE WATTS APPARENTS $2\pi f v^2 C$	DÉPENSE D'ÉNERGIE DU CONDENSATEUR EN WATTS	PERTES EN % DES WATTS APPARENTS	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	r	t	Δt	f	I	v	Iv	Iv cos φ	100 cos φ S %.	T
1	16.1	16.07	2.78	2 014	0.04635	1 581	73.3	0.4693	0.64	600
2	16.55	16.43	0.74	2 580	0.0278	691	19.209	0.0985	0.513	600
3	18.95	19.46	1.18	3 626	0.0617	998.5	61.6	0.316	0.513	300
4	17.5	17.575	1.41	6 250	0.0865	656.1	56.8	0.3813	0.671	300
5	18.0	18.0	3.70	6 290	0.1798	1 334.6	239.9	1.9825	0.827	180
6	17.35	17.35	3.35	6 750	0.177	1 187.9	210	1.788	0.852	180
7	18.3	18.275	1.445	6 770	0 09015	597.0	53.75	0.3917	0.728	300
8	16.75	16.8	3.815	8 166	0.166	676.0	108.16	1.255	1.16	300
CONDENSATEUR N° 3										
9	15	15.09	1.62	8 166	0.105	689.7	72.42	0.577	0.797	300

au préalable. A cet effet, on montait en dérivation avec le condensateur un micromètre Edelmann, destiné à la mesure des étincelles et muni d'un électroscope à boules d'or de 10^{mm} de diamètre maintenues à la distance convenable à l'aide d'une vis micrométrique. Quand on faisait croître la température, le nombre de tours de la machine à influence restait constant tandis que les boules

restaient assez éloignées pour éviter qu'une décharge se produise entre elles jusqu'à ce que l'opération soit terminée (1).

L'écartement des boules correspondait, d'après Freyberg (2), à une tension de 25.800 volts; comparant avec les pertes, constatées précédemment pour une tension de 8.000 volts, nous obtenons :

$$0.1973.\frac{(8000)}{(25800)}=0,01898 \text{ watts}$$

Pour le condensateur N° I nous avons trouvé, avec du courant alternatif de même tension et de même fréquence, 1,007 watts (table I*b*) : on voit donc que les pertes par conductibilité comportent à peine le 2 °/₀ des pertes totales.

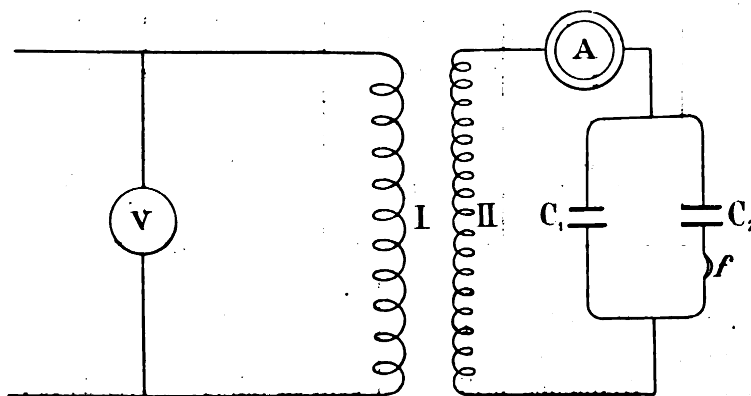


Fig. 12

Mesures avec courants oscillatoires. — Enfin le condensateur N° I a été soumis à des épreuves spéciales avec du courant oscillatoire à très haute fréquence. Ces expériences sont d'un grand intérêt pour nous, car on se sert pour la production de l'acide nitrique de courants de cette nature ainsi que nous l'avons fait remarquer dans notre introduction. Les schémas 12 et 13 indiquent les dispositions du circuit adoptées pour ces essais; elles diffèrent en ce que dans la fig. 12 on monte en série avec le condensateur et l'électroscope une bobine de self-induction de 0,12 Henry, qui, réduit la fréquence dépassant dans le premier cas 100.000 périodes par seconde à 10.000 périodes environ. La table V donne les résultats obtenus pour les deux dispositions avec une tension de 8.000 volts ; on en conclut que les pertes,

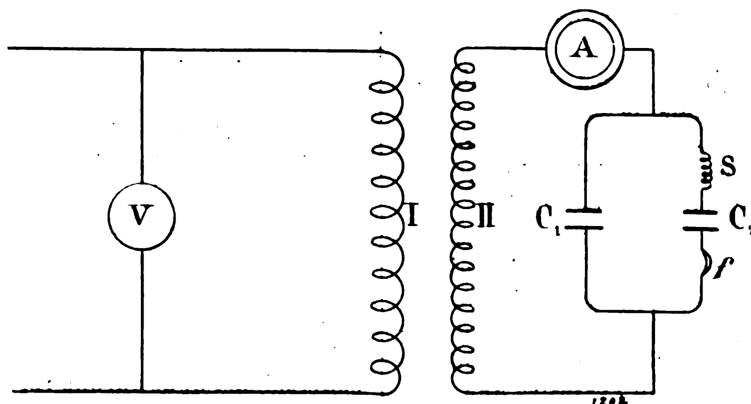


Fig. 13

(1) Durant le passage des étincelles, il se produisait dans le circuit des décharges oscillatoires qui perforaient le diélectrique dont l'épaisseur, insuffisante pour la tension, comportait seulement 1mm,5 vers les bords des armatures : par suite il n'était pas possible, avec cet instrument, de procéder à des mesures sous l'action du courant alternatif à haute fréquence.

(2) J. Freyberg, Wiedem. Ann. Vol. 38, p. 231, 1889.

TABLE V

NUMÉRO DE L'OBSERVATION	TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	TEMPÉRATURE DU MERCURE DU CONDENSATEUR	ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE DU MERCURE APRÈS LE TEMPS T	TENSION D'ÉPREUVE DU CONDENSATEUR EN VOLTS	PERTES D'ÉNERGIE DU CONDENSATEUR EN WATTS	DURÉE DE L'OBSERVATION EN SECONDES
N°	τ	t	Δt	v	$Iv \cos \varphi$	T
1	13,6	13,875	3,425	8000	2.0725	240
2	14,4	15,025	2,775	8000	1.2763	300

prises en valeur absolue, s'élèvent pour la deuxième expérience à 1,2763 watts, chiffre peu différent de celui que nous avons trouvé pour un courant de 8.000 volts à la fréquence ordinaire de 50 périodes par seconde soit 1.007 watts (table I*b*). Cela tient à ce que dans les décharges oscillatoires l'amplitude de l'onde décroît rapidement, tandis qu'elle reste constante pour le courant alternatif ordinaire.

CONCLUSIONS

On peut tirer les conclusions suivantes de la comparaison des mesures que nous avons effectuées.

1° En évaluant en °/₀ les pertes du condensateur en watts apparents $Iv = 2\pi f C v^2$, nous trouvons que, pour une fréquence constante et une épaisseur déterminée du diélectrique, elles varient en raison directe de la tension. Il en résulte que les pertes totales d'un condensateur donné ne sauraient être proportionnelles ni aux carrés des tensions, comme l'admet Steinmetz (1), ni à toute autre puissance des tensions inférieures à 2 (selon Arno (2) 1,6, selon Threlfoll (3) 1,5 — 1,96) : nous pensons au contraire que cette puissance est supérieure au carré.

2° Pour une tension et une fréquence constantes, la qualité du verre restant la même, les pertes exprimées en °/₀ des watts apparents diminuent suivant une loi inconnue quand l'épaisseur du verre augmente. En comparant les deux premières conclusions, on peut admettre que les pertes du condensateur à lame isolante en verre croissent en raison directe de la différence de potentiel $\frac{v}{\delta}$ rapportée au cm. comme unité.

3° Pour une tension constante et une épaisseur de verre déterminée, les pertes en °/₀ augmentent avec la fréquence.

4° Les pertes diélectriques totales du verre de Bohême, servant à la fabrication des éprouvettes dues à un courant alternatif de 50 périodes par seconde et à une différence de potentiel $\frac{v}{\delta} = 25000$ volts sont inférieures de 1 °/₀ aux pertes apparentes.

5° Les pertes dues à la conductabilité du diélectrique sont très faibles avec le verre; elles comportent au plus 2 °/₀ des pertes totales (1), qui sont dues en plus grande partie aux déformations matérielles auxquelles est soumise la substance diélectrique quand le champ électrique varie.

Pour mieux comprendre les trois premières conclusions, nous aurons recours à la représentation géométrique du champ électrostatique; nous admettrons qu'il est uniforme comme dans le cas de deux surfaces parallèles : en effet, la différence des rayons des armatures extérieure et intérieure du condensateur cylindrique est inappréciable. Cette constatation permet de con-

(1) Steinmetz. — Elektrotechn. Zeitschrift 1892, p. 227 ; 1895, p. 623 ; 1981 p. 605.

(2) R. Arno. — Lumière électrique, XLIV, p. 537, 1892.

(3) A. Threlfoll. — Phys. Review, Vol. 4, p. 454 ; Vol. 5, p. 21 et 65, 1897.

(1) Lombardi estime à 7 °/₀ les pertes diélectriques du verre (Elektrotechn. Zeitschrift p. 714, 1899) ; il y a entre cette valeur et celle que nous avons obtenue une différence trop grande pour qu'elle puisse être attribuée uniquement à la qualité du verre employé : elle tient plutôt à la méthode de mesure.

sidérer comme parallèles les lignes de force et par suite les surfaces équipotentielles : l'ensemble de ces deux éléments forme des tubes de forces parallélipipédiques à axe rectiligne et de même volume, qui emmagasineront chacun la même quantité d'énergie du champ électrique. Dans un champ variable, on peut considérer les pertes diélectriques en °/₀ (100 cosφ) comme proportionnelles aux pertes d'énergie d'un tube de force. Pour une même espèce de lame isolante, la dimension d'un de ces tubes de même énergie dépend de la différence de potentiel $\frac{v}{\delta}$: car si ce rapport augmente, leurs volumes diminuent, lorsqu'on suppose constante l'énergie du champ électrique. Nos expériences ayant démontré que les pertes en °/₀ croissent en même temps que $\frac{v}{\delta}$, on peut conclure qu'à une diminution de volume d'un tube de force correspond une augmentation de pertes.

Si nous faisons varier v et δ en même temps de façon à maintenir constante la proportion $\frac{v}{\delta}$, les dimensions des tubes de force ne changeront pas pour une même quantité d'énergie. On peut en conclure que pour une différence de potentiel $\frac{v}{\delta}$ invariable, les pertes en °/₀ conserveront une valeur identique. L'expérience ne confirme que partiellement cette déduction. En cherchant dans les tables, on ne trouve pas les mêmes valeurs de 100 cosφ pour un rapport $\frac{v}{\delta}$ presque constant. On observe même des différences assez sensibles, qui peuvent être attribuées à deux causes principales : 1° l'épaisseur moyenne du tube n'est pas toujours obtenue avec une exactitude absolue ; 2° le verre peut présenter des divergences assez considérables dans ses propriétés physiques en raison des procédés de fabrication employés, malgré une composition chimique invariable. Ajoutons que les pertes ne dépendent pas seulement de la différence de potentiel mais encore de la fréquence, c'est-à-dire de la rapidité avec laquelle se produit la polarisation diélectrique.

En admettant l'hypothèse de l'invariabilité des pertes diélectriques en °/₀ pour une même différence de potentiel $\frac{v}{\delta}$, on peut, après avoir comparé les résultats obtenus, établir la formule générale suivante :

$$100 \cos \varphi = K \left(\frac{v}{\delta}\right)^{\alpha} f^{\beta} \ldots\ldots \quad (1)$$

où K représente un coefficient de proportionnalité, v, δ, f conservent leur signification. Quant aux exposants α et β nous leur avons assigné des valeurs comprises entre 0 et 1 : nous ne pouvons affirmer qu'elles ne varient pas avec le rapport $\frac{v}{\delta}$. (1)

Pour obtenir les pertes totales du condensateur, il suffit de remplacer dans la formule : $W = 2\pi f v^2 C \cos \varphi$ (2), la lettre C par $\frac{K.S}{4\pi\delta}$ et cos φ par sa valeur tirée de l'équation (1),

soit : $\cos \varphi = \frac{K}{100} \cdot \left(\frac{v}{\delta}\right)^{\alpha} \cdot f^{\beta}$. On aura alors :

$$W = K'\delta \left(\frac{v}{\delta}\right)^{2+\alpha} f^{1+\beta} \quad (3)$$

où $K' = \frac{K.KS}{200}$ et où α et β sont compris entre 0 et 1.

La formule (3) diffère quelque peu de celle de Steinmetz (1) :

$$W = K v^2 f \ldots\ldots (1)$$

Cette dernière équation suppose que pour un même diélectrique les pertes en °/₀ sont constantes et indépendantes de la tension et de la fréquence ; au contraire, nos expériences prouvent que, pour le verre du moins, elles varient avec ces deux éléments.

Les expériences décrites dans ce mémoire ont été faites au laboratoire de physique de l'Université de Fribourg (Suisse).

J. Moscicki.

(1) Nous avons commencé une étude pour déterminer l'invariabilité des pertes en °/₀ pour un rapport constant v, et, pour fixer les valeurs exactes de α et β.

(2) C. P. Steinmetz. — Theory and calculus of alternate current phenomena, traduction allemande p. 161.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ASSOCIATION ÉLECTROTECHNIQUE ITALIENNE

Des oscillations pendulaires propres aux machines synchrônes. Communication faite à l'Association Electrotechnique italienne par **Mr Guido Semenza,** Ingénieur.

L'occasion que j'eus de suivre pendant l'été dernier les expériences de M. Rebora, Ingénieur, sur deux stations génératrices, situées à une certaine distance l'une de l'autre, et entre lesquelles la marche en parallèle n'était pas possible, expériences desquelles il a complètement été rendu compte à l'Association, m'a poussé, étant donné le grand intérêt que le fait avait soulevé, à continuer des recherches et des expériences dans un même ordre d'idées.

M. Rebora, dans une suite d'expériences simples et élégantes, a mis en évidence que la raison de l'inconvénient, qui créait la difficulté, résidait dans la résistance de la ligne, résistance qui, en dépassant une certaine valeur, donnait lieu au phénomène d'oscillations pendulaires et en atteignant certaines limites, à l'instabilité de la marche en parallèle.

En second lieu, il a démontré que la réactance de la ligne entre les limites entre lesquelles celle-ci pouvait varier, n'avait pas une influence sensible sur le phénomène.

***

Dans le but d'entrer plus avant dans l'étude de la question, j'ai exécuté deux séries d'expériences: la première, sur deux alternateurs actionnés par des moteurs électriques à courant continu, lesquels étaient alimentés par une batterie d'accumulateurs; la seconde sur un moteur synchrone connecté aux barres collectrices d'une grande installation.

La première série d'expériences n'a pu réussir complètement pour des raisons indépendantes de ma volonté, mais elle a pu néanmoins donner des résultats d'une notable importance.

***

Ce qui frappe dans le rapport des expériences de Rebora, c'est que les oscillations pendulaires se produisent quand la résistance du circuit atteint certaines limites; et en effet, tant dans les expériences de Rebora, que dans celles que j'ai exécutées moi-même, la désynchronisation n'avait jamais lieu d'une façon imprévue ou graduelle, mais toujours comme conséquence d'un état oscillatoire qui, en augmentant d'amplitude, portait la machine en dehors des limites de stabilité.

Pour ces raisons, considérant que l'étude du phénomène en question ne peut être séparée des oscillations pendulaires, j'ai voulu dès le début, me mettre dans les conditions les plus favorables pour les observer, en essayant d'éliminer, autant que possible, toute cause perturbatrice.

Le choix de deux alternateurs actionnés par des moteurs dépendant d'une puissante batterie d'accumulateurs, constitue une condition presqu'idéale.

***

Les alternateurs que nous appellerons A et B, étaient deux machines américaines identiques,

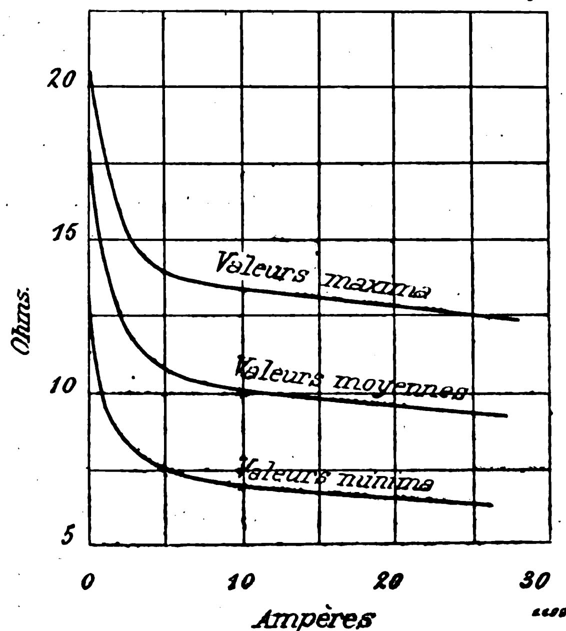


Fig. 1

fonctionnant d'ordinaire comme moteurs synchrones dans l'usine de « Santa Radegonda » de la Société Edison de Milan.

Les données de ces machines sont les suivantes:

Courant triphasé; puissance : 300 kw; fréquence : 42 cycles par seconde; vitesse : 420 tours par minute; tension : 3550 volts; type à inducteurs tournants à douze pôles tous enroulés; l'enroulement de l'armature est distribué dans 9 encoches par pôle; les pôles sont feuilletés, maintenus par un petit flasque métallique interne; la résistance de chaque dérivation du circuit (montage en étoile) est de 0,45 ohm après plusieurs heures de marche; les réactances maxima,

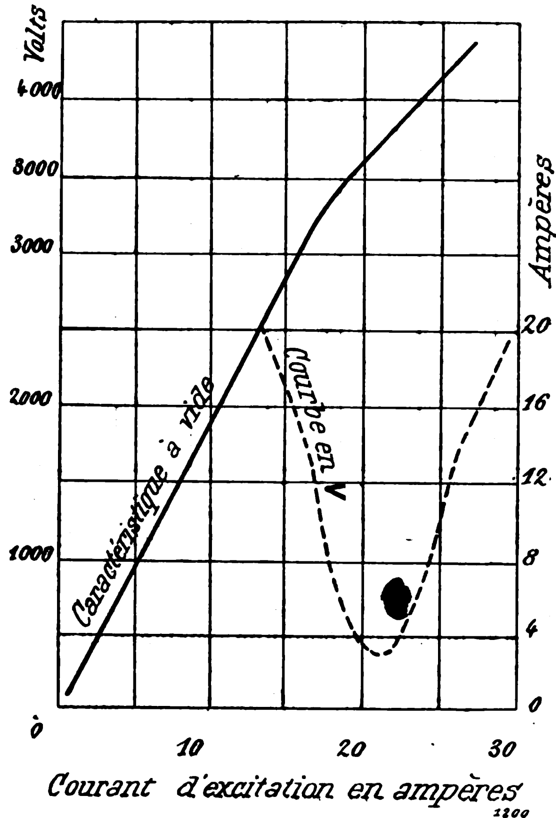


Fig. 2

moyenne et minima de chaque enroulement sont données par le diagramme *fig. 1* pour les diverses valeurs de l'excitation.

Il est bon de préciser la signification que je donne au mot *réactance*.

Pour moi, elle est représentée par l'expression $2\pi\ nL$, c'est-à-dire, celle qui, multipliée par le courant, donne pour produit la f. e. m. consommée par la self-induction L du circuit.

Dans le diagramme fig. 2 sont données la caractéristique à vide et la courbe en V des machines.

Les moteurs actionnant les alternateurs étaient pour chacun d'eux une dynamo-shunt à courant continu qui recevait le courant d'une grosse batterie de l'usine de Sainte-Radegonde (capacité : 4600 amp.-heures).

Entre les pôles des alternateurs étaient inter-

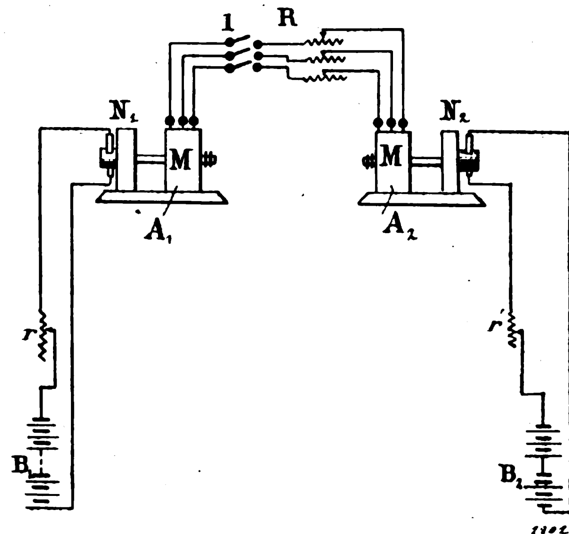


Fig. 3

calés des rhéostats pouvant varier de 0 à environ 40 ohms.

L'ensemble du circuit est représenté figure 3.

***

Les expériences que j'ai pu faire sur ces machines ont donné les résultats que j'ai résumés plus haut.

Les alternateurs mis en parallèle avec une résistance nulle dans un circuit que nous appellerons *ligne*, ont une marche absolument stable.

Cette stabilité, qui se conserve, même si l'un des alternateurs vient à tourner comme moteur synchrone, et cela en prenant du courant au petit moteur correspondant, s'explique par le fait que, quelle que soit la perturbation qui agira sur la vitesse des petits moteurs, ou sur l'excitation des alternateurs, elle ne donne pas naissance aux oscillations pendulaires. De plus, les extra-courants restent toujours très faibles.

La marche des phénomènes est différente, suivant que les expériences se font avec les deux alternateurs actionnés par leurs petits moteurs, ou que l'un des alternateurs, par exemple A, fonctionne comme générateur et B comme moteur en entraînant la dynamo à courant continu à vide, et nous obtenons, dans ce premier cas complexe, une stabilité bien meilleure.

Lorsque les deux machines fonctionnent comme génératrices, la régularité de marche reste constante, jusqu'à ce que la résistance de la ligne arrive aux environs de 10 ohms, ce qui correspond à une résistance totale du circuit de 11 ohms environ. A ce moment, commence à se révéler l'*état oscillatoire*, et alors, après quelques moments de marche, on observe une légère pulsation des aiguilles des instruments avec une période voisine de 100-105 coups à la minute. Si la valeur de la résistance augmente, ce mouvement croît en amplitude et diminue en fréquence.

C'est ainsi que pour une résistance du circuit de 12,7 ohms, les élongations de l'ampèremètre de la ligne arrivaient à 30 amp., et que la fréquence est de 92 à la minute, l'excitation restant la même que primitivement.

Le phénomène s'est déroulé de la manière suivante: les deux machines étant en marche sont mises en parallèle, ce qui, dans le cas actuel, est faisable avec toute la précision désirable, aucun élément perturbateur extérieur n'existant. Aussitôt après la mise en parallèle, les instruments restaient absolument immobiles, et semblaient devoir conserver cette immobilité; mais par contre, après un temps variant de 30 à 40 secondes, on commençait à remarquer sur les appareils des oscillations d'abord à peine perceptibles, qui augmentaient d'une façon continue jusqu'à une certaine amplitude qu'elles conservèrent ensuite indéfiniment.

Les oscillations étaient indiquées par un tachymètre, l'ampèremètre de la ligne, le voltmètre et l'ampèremètre du courant d'excitation dont les indications variaient dans le rapport de un à deux.

La fig. 4 montre comment la fréquence varie en fonction de la résistance du circuit pour une excitation donnée ; nous verrons plus loin comment la fréquence varie avec le courant d'excitation.

***

Lorsqu'ensuite la résistance du circuit dépassa 20 ohms, les oscillations prirent une telle amplitude qu'après peu de coups les machines étaient désynchronisées.

Les phénomènes sont altérés d'une façon insensible, lorsqu'au lieu de faire marcher les machines à vide, elles marchent sous charge après interposition, par exemple, d'un moteur asynchronisé connecté aux barres collectrices.

Par contre, lorsque l'une des machines marche comme génératrice et l'autre comme motrice, en entraînant la dynamo correspondante à vide, les phénomènes sont identiques, mais l'on obtient des valeurs plus petites de la résistance du circuit, c'est-à-dire que les pulsations commencent à se manifester pour une résistance du circuit égale à 8 ohms.

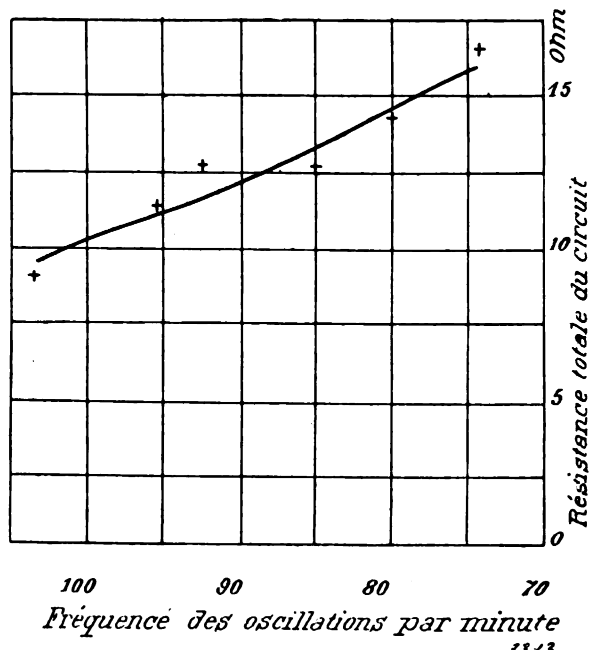


Fig. 4

La fréquence des oscillations est aussi plus petite, comme, du reste, la résistance.

Il y a donc réellement une différence entre les deux cas, différence qu'il n'était pas facile de prévoir, mais qui peut être expliquée par le fait que dans les deux cas les réactions internes des alternateurs agissent d'une manière différente, et que, par conséquent, l'intensité du champ, étant donné le courant d'excitation, n'est pas la même.

Ces premières expériences ont donc mis en évidence :

1° Que la résistance du circuit entre deux alternateurs en parallèle a comme effet de donner lieu à des oscillations pendulaires;

2° Que l'amplitude et la période augmentent lorsque la résistance du circuit croît;

3° Qu'au delà d'une certaine limite de la résistance de la ligne, on obtient la désynchronisation des machines;

4° Que les oscillations pendulaires proprement dites n'ont pas besoin d'une impulsion qui détermine une première oscillation ayant l'amplitude du régime, mais qu'elles apparaissent comme se produisant d'elles-mêmes, et que leur amplitude augmente graduellement, sans qu'aucune action externe paraisse intervenir;

5° Que, sans rien changer à la résistance du circuit et à la masse en mouvement, les machines se comportent différemment suivant qu'elles agissent toutes deux comme génératrices, ou bien que l'une fonctionne comme génératrice, l'autre comme réceptrice.

***

La seconde série d'expériences a été exécutée sur un alternateur fonctionnant comme moteur synchrone à vide, prenant son courant sur les barres collectrices omnibus de l'Usine de Triphasé de Milan; ces conditions diffèrent de celles du cas précédent, car, tandis que dans le premier cas les variations de la f. e. m. des machines avaient une influence notable sur la différence de potentiel de la ligne, dans ce second cas la puissance des générateurs était si grande, que les variations d'une nature quelconque supportées par le moteur synchrone, n'avaient aucune influence sur la différence de potentiel des barres collectrices.

Les données de cette machine sont:

Courant triphasé; puissance, 165 Kw; voltage 3.600 volts; fréquence 42 cycles; vitesse 315 tours; inducteurs tournants à 16 pôles, dont 8 enroulés; armature avec enroulement sur induit denté.

Résistance de chacune des branches de l'étoile : 1,03 ohm.

Les courbes de la figure 5 montrent la caractéristique à vide, la courbe en V du moteur synchrone et les valeurs moyennes de la réactance en fonction du courant d'excitation.

Ainsi qu'il a été dit, les expériences faites sur cette machine purent être faites avec une très grande précision.

Le schéma des connexions est représenté fig. 6.

La mise en marche se faisait en se servant de l'excitatrice comme moteur.

Dans ces expériences se présentèrent toutes les causes perturbatrices qui se trouvent dans une grande installation, c'est-à-dire : variation de potentiel, de fréquence, de charge, et, quand les machines à vapeur de l'Usine de la *Porta Volta* étaient en marche, aussi les variations de vitesse angulaire pendant la rotation de la manivelle. Ces causes cependant n'eurent d'autre effet que celui de masquer les phénomènes d'oscillation pendulaire quand ceux-ci se faisaient peu sentir, puisque, lorsque ceux-ci prenaient une amplitude même à peine appréciable, ils prenaient franchement le dessus.

Le fait nouveau mis en évidence par les expériences sur ce moteur, fut la très grande influence que l'excitation du moteur a sur le phénomène.

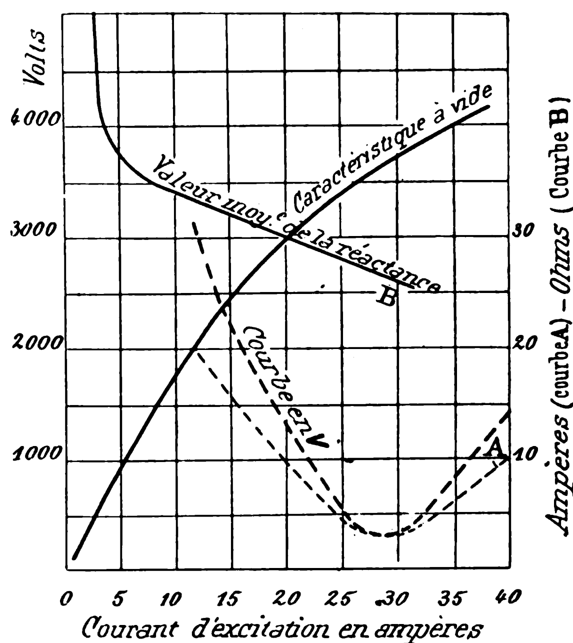


Fig. 5

Considérons la courbe en V du moteur.

Nous voyons qu'à son point le plus bas correspond un excitation d'environ 29 ampères.

Quand une telle excitation peut être maintenue, il ne se présente aucun phénomène sensible d'oscillation, jusqu'à une résistance de la ligne d'environ 15 ohms.

Mais si, par contre, l'excitation prend une valeur autre ne correspondant pas au courant minimum, située soit en dessous soit en dessus, il y a déjà pour une résistance de 11 ohms, un commencement de mouvement pendulaire.

Les courbes tracées dans le haut de la figure 7 montrent de quelle manière, pour cette machine particulière, la fréquence des pulsations varie avec l'excitation et avec les résistances intercalées dans le circuit.

Lorsque la résistance de la ligne arrive aux environs de 17 ohms, il est très difficile de conserver la stabilité de marche. Mais l'expérience montre qu'il est possible, sous un régime tranquille, de conserver le parallélisme pour une excitation correspondant exactement à $\cos \varphi = 1$; mais pour peu qu'elle s'éloigne de cette valeur, les oscillations prennent une telle importance que le moteur se décroche.

Les courbes tracées dans le bas de la figure 7

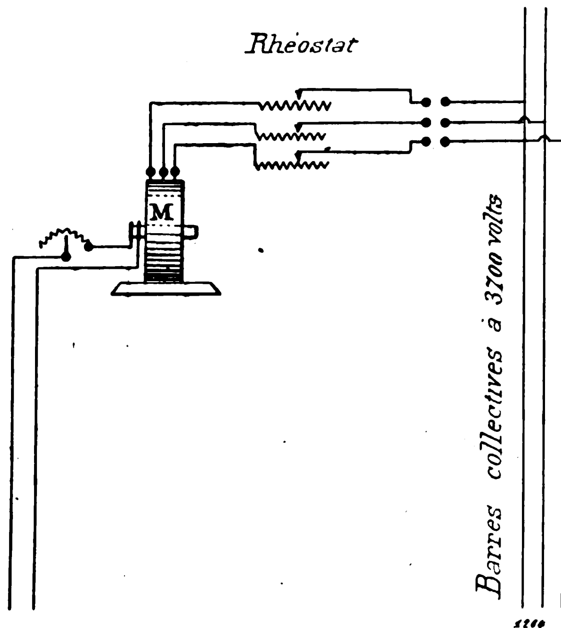


Fig. 6

sont, au contraire, des courbes déduites des autres en prenant une réactance d'environ 13,6 ohms dans chacun des trois fils de la ligne. Elles étaient dues aux secondaires de trois transformateurs ; ceux-ci contenaient par conséquent du fer. Or, dans ces conditions, la fréquence des oscillations était très diminuée, tandis que la stabilité était fortement augmentée, à tel point qu'avec une résistance de 17 ohms dans le circuit, les oscillations ne prenaient pas une amplitude exagérée, même lorsque l'excitation prenait des valeurs très différentes de celle correspondant à $\cos \varphi = 1$

De plus, la courbe en V, comme cela est figuré fig. 5, devient plus ouverte et plus arrondie.

Pendant la marche de ces expériences, on fit l'expérience suivante :

Un certain régime d'oscillations étant obtenu, on reporta rapidement l'excitation à la valeur correspondant à $\cos \varphi = 1$. Dans ce cas, les oscillations, en modifiant néanmoins leur période, s'éteignirent en quelques secondes pour disparaître complètement.

***

En résumé, les expériences exécutées sur la machine C ont confirmé les points principaux

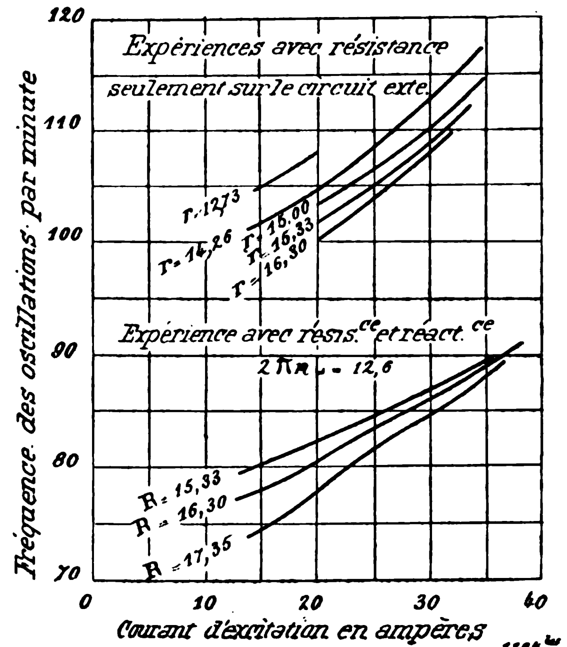


Fig. 7

démontrés par les expériences faites sur les machines A et B, et ont de plus mis en évidence :

1° Que pour une excitation correspondant à $\cos \varphi = 1$, les oscillations n'ont pas tendance à se produire, même pour une résistance du circuit assez forte ;

2° Que l'amplitude des oscillations est d'autant plus grande, qu'on s'éloigne davantage de la position de $\cos \varphi = 1$, tant dans un sens que dans l'autre ;

3° Que la réactance du circuit a une action décisive sur la plus ou moins grande amplitude des oscillations, et par suite sur la stabilité de marche ;

4° Que sous la condition de $\cos \varphi = 1$, les oscillations s'amortissent assez rapidement.

5° Que la fréquence des oscillations ne paraît pas être liée à la stabilité de marche.

***

Telles sont, en peu de mots, mes expériences. Les auteurs qui se sont occupés des

oscillations pendulaires des machines synchrones, ont porté leur attention spécialement sur le cas dans lequel celles-là proviennent d'irrégularité dans la vitesse des moteurs qui les entraînent ; toutefois, on trouve quelques remarques précieuses dans les études de Steinmetz, Blondel, Boucherot, de Kapp, et de Gorges concernant également les mouvements pendulaires propres. En m'aidant de celles-ci, j'ai voulu essayer de trouver les raisons des phénomènes observés, et les conclusions auxquelles je suis arrivé forment l'objet des paragraphes suivants.

* * *

Il convient, afin de bien nous entendre, de rappeler quelques points de la théorie des alternateurs et de leur marche en parallèle.

Quand deux alternateurs semblables sont connectés en parallèle à vide, que leurs forces électromotrices sont égales, que les vitesses des moteurs sont identiques, et que le degré de régularité est infini, le diagramme se réduit à une ligne droite représentant la f. e. m. des deux alternateurs. Ce sont cependant des conditions idéales : dans la pratique, une ou plusieurs de ces conditions ne sont pas remplies, et alors les vecteurs, représentant la f. e. m., ne coïncident pas et forment entre eux un certain angle. Le diagramme fig. 8 représente le phénomène. Les deux f. e. m. OE_1 et OE_2 formant entre elles l'angle α, il doit exister entre les deux alternateurs une différence de potentiel représentée par $E_1 E_2$. Sous l'action de celle-là circule dans le circuit, formé par les deux armatures et la ligne qui les relie, un courant dont l'intensité est déterminée par l'impédance de ce même circuit. Si i est ce courant, r et L la résistance et la réactance du circuit, nous aurons :

$$E_2M = ir \text{ et } ME_1 = 2\pi\, nLi$$

La direction E_2M est celle du courant de circulation, et φ_1 et φ_2 les angles respectifs de différences de phases entre la f. e. m. des alternateurs et le courant.

Il est bon de noter que, pour le cas qui nous occupe, la résistance et la réactance du circuit ont la même influence, qu'elles soient internes ou externes aux enroulements des machines.

Tant que la résistance et la réactance restent invariables, le triangle E_1E_2M reste semblable à lui-même : rappelons de plus que

$$\text{tg. } E_1E_2M = \frac{2\pi nL}{r}$$

Si, maintenant, au lieu de deux alternateurs, il s'agit d'un moteur synchrone relié à des barres collectrices, et que le moteur ait une puissance négligeable, comparativement à celle des géné-

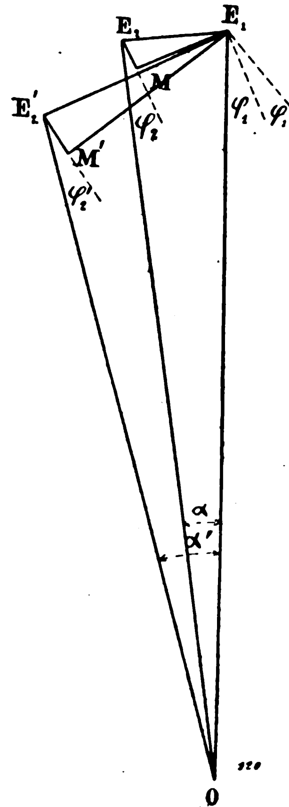


Fig. 8

rateurs, le diagramme par vecteurs reste le même, mais E_1 représente la différence de potentiel des barres, E_2 la f. e. m. du moteur, et les résistance et réactance sont celles du circuit du moteur, plus celle de la ligne reliant ce même moteur aux barres.

Ces diagrammes se rapportent primitivement à des machines monophasées : mais si nous représentons par les vecteurs OE_1 et OE_2 les tensions au centre d'un système triphasé, ils sont encore applicables sans aucune modification.

Rappelons aussi que le courant fourni par des alternateurs en parallèle ou absorbé par des moteurs synchrones varie avec l'intensité du

courant d'excitation ; ce fait est représenté par les courbes déjà connues des figures 2 et 5.

Dans la représentation par vecteurs du phénomène les variations de la valeur du courant d'excitation sont figurées par un raccourcissement ou un allongement de la ligne OE_2. Lorsque nous aurons $OE_2 = OE_1$ et que la machine tournera à vide, l'angle formé par les deux f. e. m. est extrêmement faible, et la direction du courant E_2M est très près de celle de la f. e. m.: par conséquent, la valeur de la f. e. m. résultante $E_1 E_2$ est celle qui est suffisante pour donner naissance au courant représentant la puissance nécessaire à entraîner le moteur ; puisque $\cos \varphi_2$ est très voisin de l'unité, ce courant est très faible.

Mais lorsque OE_2 diffère de OE_1 il en est autrement: comme le triangle E_1ME_2 doit rester semblable à lui-même, puisque le rapport $\frac{2\pi nL}{r}$ est constant, l'angle φ augmente, et par suite, l'intensité du courant de l'armature. Ce courant est décalé en avant et en arrière, suivant que l'excitation est plus petite ou plus grande que celle qui correspond à $\cos \varphi = 1$. Pour être tout à fait rigoureux, il faudrait distinguer entre les positions de $\cos \varphi_1 = 1$ et $\cos \varphi_2 = 1$, mais en pratique, ces positions sont très voisines, et l'on peut supposer qu'elles se confondent.

Supposons maintenant que l'impédance du circuit reste constante, mais que le rapport entre la résistance et la réactance varie : il en résultera une forme différente du triangle $E_1 ME_2$.

Si la résistance augmente, l'angle $E_1 E_2 M$ dont la tangente est précisément $\frac{2\pi nL}{r}$ diminuera, et par suite φ_2 augmentera ; si au contraire c'est L qui augmente, l'angle φ_2 diminuera.

La résistance et la réactance agissent donc en sens inverse par rapport à l'angle de décalage interne du moteur, et si l'on considère le mode de construction de la courbe en V des moteurs synchrones, on peut en déduire facilement que la résistance du circuit a pour effet de rendre la courbe en V plus pointue, alors que la réactance a pour effet de l'arrondir.

L'examen de la courbe en V montre, que dans l'hypothèse d'une faible excitation, celle-là doit passer par un point à partir duquel elle sera verticale, ou prendra une courbure inverse, comme d'ailleurs l'apprend la théorie, ce qui correspond à une limite de l'excitation pour laquelle le moteur ne peut rester en phase, ou encore à une limite de stabilité. Cette limite correspondra à un courant d'excitation d'autant plus faible que la réactance sera plus grande et la résistance du circuit plus faible.

***

Ces résultats apparaîtront plus clairs si l'on considère les côtés physiques du phénomène. Puisque les expériences qui ont été faites se rapportent à du matériel triphasé, nous considérerons un alternateur triphasé, et nous supposerons, pour plus de simplicité, qu'il marche comme moteur synchrone.

Les courants circulant dans l'armature, que nous supposerons fixe, donnent lieu à un champ Ferraris qui tourne uniformément avec l'inducteur. Quand le moteur est excité de manière à absorber le minimum de courant, les axes des pôles correspondent aux axes du champ Ferraris. Si l'on change tant soit peu l'excitation, si par exemple on la diminue, un courant plus fort traversera l'armature, et les axes des pôles se décaleront d'un certain angle par rapport à ceux du champ tournant.

Si, au lieu de faire varier l'excitation, on réussit par un moyen quelconque à accélérer le mouvement des inducteurs (rotor) par rapport à l'armature (stator), l'effet obtenu sera analogue au précédent, c'est-à-dire que, puisque nous avons déplacé les axes des pôles par rapport à ceux du champ tournant, la f. e. m. du moteur ne sera plue exactement opposée à la f. e. m. externe, et leur différence, au sens géométrique du mot, laissera passer dans le circuit du stator un courant plus intense. Ce courant aura pour effet de rendre plus intense le champ du stator, et donnera naissance à un couple qui tendra à ramener les pôles du rotor dans leur position primitive. Telle est la raison première de la marche synchrone des alternateurs, c'est-à-dire que : un déplacement quelconque des positions de régime du rotor et du stator, engendre un couple qui tend à s'opposer à ce même déplacement.

Si donc l'intensité du champ atteint des valeurs comprises entre certaines limites proportionnelles au courant qui le traverse, et que le flux du rotor donne naissance à la f. e. m. du moteur, et puisqu'enfin l'action entre les deux flux est fonction du produit de leurs valeurs instan-

tanées, cette action synchronisante peut s'exprimer par le produit $E_2 i \cos \varphi_2$.

Cette formule n'est autre que celle de la puissance consumée dans le moteur pour y vaincre les résistances passives : il est d'ailleurs naturel qu'il en soit ainsi, puisque le phénomène qui ramène le rotor à sa position de régime, par rapport au champ tournant, correspond à une variation de force vive, ou encore à un travail mécanique positif ou négatif accompli par le moteur.

Il en est de même, s'il s'agit d'alternateurs en parallèle : les deux alternateurs tendent à conserver une marche synchrone, puisque tout déplacement relatif donne naissance à un courant agissant de manière à ralentir la machine qui accélère, et accélérer celle qui ralentit.

Cet état de choses a naturellement une limite : il y aura un certain angle de décalage au delà duquel la force synchronisante commencera à décroître : cet angle s'appelle l'angle limite de stabilité, et la théorie de la marche en parallèle démontre qu'il est égal à l'angle ayant pour tangente $\frac{2\pi n L}{d}$ ou bien encore l'angle $E_1 E_2 M$.

Une fois encore apparaissent ici les influences opposées de la réactance et de la résistance du circuit : l'une augmente, l'autre diminue l'angle limite de stabilité.

*
* *

Ces représentations graphiques qui rendent si simple l'étude des courants alternatifs, ont pourtant de graves défauts dès l'origine, car elles s'obtiennent en négligeant une grande quantité d'éléments essentiels du phénomène ; à tel point que l'on peut affirmer que leur extrême simplicité provient précisément du fait que toutes les difficultés sont éliminées *a priori*. Nous supposons, en effet, que le courant i est sinusoïdal, or il ne l'est pas ; nous supposons constante la réactance des circuits, tandis qu'elle varie avec la position des pôles par rapport au stator, avec l'excitation des alternateurs, et avec l'intensité du courant dans le stator. Enfin, on néglige un élément important et variable suivant une loi assez peu connue : la réaction d'induit.

Or, la réactance et la réaction ont une part très importante dans les phénomènes dont nous nous occupons : par conséquent, la représentation graphique, tout en donnant une orientation générale permettant de mieux comprendre les faits, ne pourra nous être d'un bien grand secours.

*
* *

Cela posé, passons à l'étude des oscillations pendulaires. Le cas le plus simple sera celui du moteur synchrone triphasé.

Supposons que ce moteur tourne dans des conditions pour ainsi dire de régime : soit α l'angle de la f. e. m. des barres avec la f. e. m. du moteur, et supposons que sous l'effet d'une action étrangère l'angle α augmente ; nous avons vu qu'il se produira un couple dû à l'action synchronisante qui tendra à le ralentir. Or, tandis que le couple retardateur varie instantanément avec les positions relatives du rotor et du stator, les variations dans la vitesse suivent celles du couple moteur avec un retard dû à l'inertie de la masse : nous nous trouvons, par conséquent, dans des conditions suffisantes pour établir un mouvement pendulaire. Il n'en est pas autrement du pendule qui conserve son mouvement puisque, quand la masse est tombée à son point le plus bas et que la composante horizontale de la gravité est nulle, la masse conserve la vitesse acquise sur la descente.

Le rotor donc, après avoir reçu une impulsion, revient en arrière pour aller occuper sa position primitive par rapport au champ tournant avec une vitesse qui la lui fait dépasser, et prend sans plus un mouvement pendulaire.

Ce mouvement pourrait se conserver indéfiniment s'il n'existait des actions amortissantes.

La période qui produit le mouvement pendulaire est déterminée et elle varie avec la résistance, avec la résistance et avec l'excitation de la machine, ainsi que nous l'avons vu par nos expériences, et enfin avec le moment d'inertie de la partie tournante.

La fréquence des oscillations est liée à cette quantité par une relation quelque peu complexe.

Les divers auteurs qui ont étudié la question théoriquement sont arrivés à des formules différentes, suivant les hypothèses qu'ils ont faites.

Blondel donne la formule suivante, dans laquelle F représente la fréquence des oscillations, $2p$ le nombre des pôles, n la fréquence du courant, K le moment d'inertie de la partie tournante.

$$F = \frac{p}{2\pi} \sqrt{\frac{2E_1E_2 \sin\left(\text{arc tg} \frac{2\pi n L}{r}\right) \cos \theta}{2\pi n K \sqrt{\overline{2\pi n L}^2 + r^2}}}$$

La formule de Steinmetz est un peu différente, mais en tout cas la réactance et la résistance y entrent sous la même forme, à savoir :

$$\frac{\sin\left(\operatorname{arc\,tg}\frac{2\pi nL}{r}\right)}{\sqrt{2\pi nL^2 + r^2}}$$

Or, il est intéressant de voir combien ces formules, qui sont établies sans tenir compte de la loi suivant laquelle varie chacune des quantités en jeu, sont d'accord avec les résultats d'expériences.

Dans l'expression ci-dessus, il est facile de voir qu'en prenant pour variable r (résistance du circuit), cette expression prend des valeurs continuellement décroissantes lorsque r croît, ce qui est absolument conforme aux expériences.

Si l'on prend L comme variable, la fonction croît avec L, puis présente un point d'inflexion, et diminue ensuite en tendant vers la valeur $\frac{1}{2\pi nL}$ Dans nos expériences, nous avons trouvé pour une valeur suffisamment élevée de la réactance une valeur faible de la fréquence, ce qui indique que pour la valeur considérée de L, l'inflexion est déjà dépassée.

Cela démontre que les formules en question, bien qu'incapables de donner une analyse quantitative du phénomène, peuvent cependant donner une idée exacte de la marche de celui-ci.

***

Un pendule ne peut conserver indéfiniment son mouvement, puisque les frottements du point de suspension et du milieu dans lequel il oscille convertissent peu à peu en chaleur l'énergie reçue par la première impulsion.

D'une manière analogue il existe dans un alternateur des frottements électro-mécaniques qui absorbent cette énergie du mouvement pendulaire, et qui sont précisément les courants produits par le moteur lui-même dans toutes les masses métalliques des machines, les courants induits dans le circuit des inducteurs et les frottements mécaniques.

Ces frottements sont importants ; cela se démontre par le fait que, si un alternateur, par exemple, surexcité et en état d'oscillation est rapidement ramené à l'excitation de courant minimum, sauf des conditions spéciales, les oscillations s'amortissent en peu de minutes. De même, lorsque le couplage en parallèle a été mal fait, on obtient des oscillations étendues qui diminuent rapidement et disparaissent complètement.

Il est donc important d'établir que le mouvement pendulaire ne peut se maintenir par simple inertie parce que les forces amortissantes sont énergiques, mais parce qu'il se trouve que des causes internes et externes sont intervenues.

***

Nous avons également vu, au cours des expériences, que les mouvements pendulaires n'avaient nul besoin pour s'établir d'une impulsion décisive, mais qu'ils apparaissaient comme s'ils prenaient naissance d'eux-mêmes. Cela n'est pas admissible et nous pourrons toujours supposer qu'au moins une impulsion première fut donnée, au moment de l'accouplement en parallèle.

Les mouvements pendulaires augmentent d'amplitude en s'arrêtant quelquefois à un régime, d'autres fois en augmentant jusqu'à dépasser l'angle limite de stabilité.

Ici encore une explication est nécessaire, et la première série d'expériences, où toute action perturbatrice était supprimée, nous indique qu'il faut la chercher à l'intérieur même du moteur.

Dans un travail récent, Steinmetz a fait allusion à la cause à laquelle est due cette amplification des mouvements pendulaires. Nous voulons parler de la réaction d'induit.

La réaction d'induit consiste essentiellement dans l'action du flux magnétique émanant de l'enroulement de l'armature sur le flux de l'inducteur. Quand le courant qui circule dans l'armature est en concordance de phase avec la f. e. m. de l'alternateur, ce flux a une action à peu près nulle, puisque, quand les épanouissements polaires se trouvent en correspondance avec les axes des bobines, le courant de celles-ci passe précisément par zéro.

Quand, par contre, il y a un décalage de phases en avant ou en arrière, le courant n'est plus nul, au moment où les pôles se trouvent en face des bobines, et par conséquent, on obtient la composition des deux flux, qui donne une résultante soit plus grande soit plus petite que le flux qui correspondrait à la f. e. m. de l'inducteur.

Normalement un courant en retard de phase

affaiblit le champ, tandis qu'un courant en avance le renforce.

Or, lorsqu'un moteur ou un alternateur présente des oscillations pendulaires, et, donne naissance à un courant dont le décalage varie avec les oscillations, la réaction d'induit prendra une pulsation ayant la même période que les oscillations. C'est ici qu'intervient l'hystérésis magnétique. L'on sait que dans le fer le flux ne suit pas immédiatement la f. e. m. qui le produit, mais subit un retard dû à une sorte d'inertie du fer se refusant à modifier son état magnétique. Cela fait que, lorsque durant une oscillation l'élongation des pôles a atteint son maximum, la réaction d'induit agit encore pendant la période ascendante et l'effet produit n'atteint sa valeur maxima que lorsque les pôles sont déjà sur le chemin de retour vers la position de régime. Supposons que l'élongation ait donné naissance à un courant qui soit en avance sur la f. e. m., la réaction d'induit s'exerce de manière à augmenter le flux inducteur, et quand le pôle ayant atteint le maximum d'élongation commencera à revenir en arrière, le flux inducteur, à cause de l'hystérésis magnétique, continuera encore un peu à augmenter, en donnant au rotor une impulsion dans le sens dans lequel il a déjà modifié sa propre vitesse.

A la rigueur il suffit que l'impulsion dure pendant le temps très court qu'emploie le rotor à modifier le sens de sa variation de vitesse.

Le phénomène est analogue à celui que présenterait un pendule, si pendant la descente il pouvait augmenter la force motrice pour ensuite la diminuer en remontant : l'amplitude des oscillations tendrait à augmenter.

*
* *

Nous sommes donc en présence de deux causes qui agissent en sens inverse l'une de l'autre : les impulsions dues à la réaction d'induit qui tendent à augmenter les oscillations, et les forces amortissantes qui tendent à les diminuer.

Suivant les valeurs relatives de ces actions, le phénomène prendra des formes différentes.

Lorsque les alternateurs en parallèle ou le moteur synchrone se trouvent dans les conditions de courant minimum, le décalage de phase est aussi assez petit, et partant la réaction assez faible ; les forces amortissantes ont alors la supériorité et l'on n'a pas de mouvements pendulaires. Quand, par contre, les machines travaillent dans la partie supérieure de la courbe en V, les courants sont intenses et fortement décalés par rapport à la f. e. m., et par suite la réaction intense est assez variable avec les mouvements pendulaires, et elle tendra à établir un mouvement oscillatoire permanent possédant une amplitude telle que l'énergie produisant la pulsation soit égale à celle qui est absorbée par les forces amortissantes. Dans des conditions spéciales du circuit, cet équilibre pourra subsister pour des amplitudes supérieures à celle de l'angle limite de stabilité : alors la machine se décrochera.

Nous pourrons ainsi obtenir : une marche stable, un état des oscillations pendulaires permanent et enfin la désynchronisation.

*
* *

Nous voyons donc facilement quelle fut l'influence des variations de la résistance et de la réactance pendant nos expériences. Aux conditions qui se sont présentées vient se joindre la considération de l'angle de décalage entre le courant de l'armature et la f. e. m. de la machine, ou, en d'autres termes, la déformation de la courbe en V et l'amplitude de l'angle limite de stabilité.

La résistance du circuit aplatit la courbe en V, en tendant à en faire à la limite une ligne droite. Par suite, avec une résistance notable en circuit, non seulement les impulsions de la réaction d'induit augmentent pour de petites variations de l'excitation, mais encore elles rendent plus aiguë la courbe en V.

A ce propos, il convient de rappeler un fait qui s'est produit pendant les expériences, et qui à première vue ne se pouvait interpréter d'une manière bien claire. Avec une forte résistance en circuit (environ 16 ohms), en partant de la considération de $\cos \varphi = 1$, le moteur synchrone C, se maintint en mouvement sans oscillations pendulaires. Si on le surexcitait, des oscillations se manifestaient et allaient constamment en augmentant d'amplitude. Si maintenant on ramenait l'excitation à sa valeur primitive, les oscillations ne cessèrent point, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, mais continuaient jusqu'à la désynchronisation.

Le fait s'explique par les observations suivantes : la résistance du circuit étant élevée, la courbe en V devenait assez aiguë ; tant que le

moteur restait dans la partie plus pointue sans perturbations, les impulsions de la réaction étaient amorties, quand au contraire l'impulsion communiquée était énergique, quoique le moteur fût ramené à la position correspondant à $\cos \varphi = 1$, les élongations le portaient dans une région où la réaction était assez intense.

On explique ainsi que le fait ne se fût pas produit avec une faible résistance, et encore moins avec réactance forte du circuit, puisque pour obtenir des oscillations même peu accentuées, il fallait donner à la résistance des valeurs élevées.

***

D'autres résultats d'expériences trouvent leur explication dans cet exposé.

En effet, les alternateurs A et B commençaient à présenter des oscillations pour des valeurs de la résistance plus basses que le moteur C; mais, tandis que les premiers présentaient un état pendulaire permanent entre 8 et 20 ohms de résistance du circuit, le second ne le présentait qu'entre 11 et 16 ohms.

Cette différence peut être due à beaucoup de raisons. Les machines A et B ont une self-induction plus petite, et par conséquent c'est une valeur plus petite de la résistance qui produira un décalage plus grand du courant. En second lieu, elles ont des pôles lamellés; par suite, le retard est moindre pour l'hystérésis magnétique et l'intensité des impulsions qui en dérivent est moindre. Le moteur synchrone C a par contre un plus grand degré d'amortissement, il a des pôles d'une seule pièce, et la moitié seulement de ceux-ci sont enroulés.

Toutes ces raisons peuvent expliquer que les impulsions quoique plus petites puissent dans les machines A et B produire un plus grand écart entre les valeurs limites de la résistance, pour lesquelles le phénomène présente un caractère permanent; tandis que dans le moteur synchrone C les impulsions plus énergiques suivies d'un amortissement plus efficace puissent restreindre davantage ces limites.

***

Tout ce que nous avons dit précédemment concernant l'étude du problème d'une façon qualitative, ne présente pas le caractère propre à toute recherche propre à la science physique : l'étude quantitative.

Mais dans l'état où se trouve encore actuellement la question, il ne m'est pas possible d'aller plus loin; les quantités plus importantes qui entrent dans ces phénomènes échappent encore au calcul et varient d'une machine à l'autre; il est très probable que l'analyse complète du phénomène est beaucoup plus complexe que je n'ai pu le faire voir dans ces lignes.

Nous pourrons cependant retenir de ces argumentations quelques idées générales que nous résumons ci-dessous.

***

Dans tout cas de marche en parallèle, une perturbation quelconque dans la vitesse tend toujours à donner lieu à un état oscillatoire pendulaire.

Cet état est favorisé et maintenu par les pulsations de la réaction d'induit, lesquelles, à la faveur de l'hystérésis magnétique du fer, interviennent comme actions motrices, tandis que les forces amortissantes qui consomment l'énergie des oscillations tendent à les faire disparaître.

Toute action tendant à augmenter la réaction d'induit favorise la formation des oscillations. La résistance et la réactance du circuit ont à cet égard un effet d'une importance capitale, et la résistance peut en particulier amener de graves conséquences, lorsqu'entre deux machines synchrones se trouve une longue ligne de transmissions. Les alternateurs ont, en effet, une résistance faible comparée à la réactance propre : l'introduction dans un circuit d'une ligne aérienne, dans laquelle la résistance est en sens inverse du même ordre de grandeur ou encore bien supérieure à la réactance, peut porter le rapport de ces deux quantités au-delà des limites pour lesquelles la marche est stable.

Ces limites dépendent du type d'alternateur, et en général pour une transmission assez longue il n'est pas rare qu'elles soient atteintes.

Il est donc possible jusqu'à un certain point de considérer la marche en parallèle entre des stations éloignées comme un problème pouvant toujours être résolu; pour mieux dire, il appartiendra au constructeur d'étudier spécialement ses machines dans chaque cas particulier.

Cela sera-t-il possible? Entre certaines limites, certainement oui. Sans vouloir pénétrer dans le domaine jalousement gardé par les constructeurs, je dirai cependant que les expériences faites

semblent indiquer qu'une réaction d'induit modérée, des pôles lamellés et des amortisseurs énergiques seront quelques conditions permettant d'élever les limites de stabilité.

Dans tous les cas, il reste encore beaucoup à faire pour connaître à fond cette question intéressante. Nous espérons que les hommes éminents qui s'occupent d'électrotechnique arriveront rapidement à grouper ces phénomènes dans une théorie qui, tout en tenant compte de toutes les particularités, fournira le moyen de les traiter aussi au point de vue quantitatif.

L. M.

SOCIÉTÉ BELGE D'ÉLECTRICIENS

Les turbines à vapeur.

M. Léon Gérard a fait récemment à la Société Belge d'Electriciens, à la Société Belge des Ingénieurs et Industriels et à la Société des Ingénieurs sortis de l'Ecole Polytechnique de Bruxelles, de très intéressantes conférences sur les turbines à vapeur au point de vue des centrales électriques et y a émis des idées neuves, originales, personnelles et tout à fait dignes d'être signalées à l'attention des ingénieurs électriciens.

Après avoir fait remarquer les progrès énormes faits par les turbines à vapeur pendant les quatre dernières années, il a parlé des turbines Laval, Laval-Bréguet, Rateau, Parsons, Curtis, Westinghouse et des principales applications qui en ont été faites.

La turbine Laval est à action directe ; le régulateur agit par étranglement de la veine de vapeur. La conception théorique est simple : quelques ajutages lancent des jets de vapeur sur une roue à aubes. Les turbines Laval n'ont qu'un faible rendement. La cause principale s'en trouve dans la grande vitesse périphérique du moteur et dans l'emploi d'engrenages pour réduire la vitesse de l'arbre de commande. Malgré ces défauts, en 1899 il y avait 2000 turbines Laval en service avec une force totale de 60000 chevaux, le maximum étant de 300 et la moyenne de 30 H. P. La turbine Bréguet-Laval se distingue par le fait qu'elle n'a pas d'arbre intermédiaire. Les roues portant les aubes sont multiples et calées sur le même arbre, qui est l'arbre moteur de la génératrice, d'où suppression des engrenages de la Laval. La turbine Parsons, exploitée en Angleterre par l'inventeur, en Amérique par la société Westinghouse et sur le continent par Brown-Boveri, de Baden, met à profit, comme on sait, les actions et réactions d'une colonne cylindre de vapeur, se déplaçant parallèlement à la ligne axiale horizontale de la turbine entre deux surfaces cylindriques concentriques. Dans cet espace annulaire, le courant rencontre une série d'ailettes mobiles et d'ailettes directrices fixes. Il suffit pour montrer le développement pris par la turbine Parsons sur le continent de dire qu'à la fin de 1903, la maison Brown Boveri avait en service ou en construction 81000 kw, la puissance moyenne par générateur étant de 840 kw, la puissance maximum 10000 H. P. Cette dernière installation est en construction pour la compagnie d'Electricité Rhin-Westphalie.

La turbine Rateau, qui ressemble dans ses grandes lignes à la Parsons, présente cette particularité que les ailettes mobiles sont formées non de pièces fraisées, mais de tôles embouties et assemblées. On obtient de cette façon une meilleure construction et un centrage parfait.

Quant à la Curtis, M. Gérard a dit que l'inventeur et la Général Electric Co ont combiné une machine à action directe comme celle de Laval avec les ailettes de réaction de Parsons. La Curtis est donc une combinaison des divers dispositifs adoptés par ses prédécesseurs. Il y a appliqué la détente non par échelons brusques, mais par une augmentation progressive des sections. Le système de régulation est précis et instantané ; il est électrique. Enfin, le système est à axe vertical, ce qui a pour résultat de diminuer considérablement la surface d'encombrement.

M. Gérard, après cette partie descriptive, est entré dans la partie la plus intéressante de sa conférence, en étudiant et comparant la turbine et la machine à vapeur à piston.

Dans l'état actuel de la question, a-t-il dit, la turbine peut se placer à côté des machines à vapeur les plus parfaites comme moteur de centrales. Inférieures encore, au point de vue absolu de la consommation de vapeur à charge moyenne, aux très bonnes machines qui sont sorties des mains de quelques éminents constructeurs, elles sont cependant supérieures sous tous rapports aux machines à piston de construction ordinaire.

Elles sont admirablement adaptées aux services électriques par le fait de leurs qualités spéciales de régularité et d'aptitude au réglage, spécialement pour les alternateurs marchant en parallèle. Elles sont supérieures à tous les moteurs actuelle-

ment connus sous le rapport de la consommation d'huile et des dépenses d'entretien. M. Gérard a montré que la moindre surface occupée par la turbine, en comparaison de celle nécessitée par une machine à piston, permet une réduction de 1 centime et demi pour chaque franc de coût net, soit 3% en tenant le Kw. à 50 centimes. Quoique M. Gérard n'ait cité ces chiffres qu'à titre d'exemple, ils sont, de même que les raisonnements dont il les a appuyés, très plausibles.

Les électriciens, a dit le conférencier, se trouvent donc en présence de cette constatation agréable que leur outillage s'est enrichi d'un genre de moteur économique et avantageux, pouvant lutter avec le moteur à piston. On ne pourrait donc faire l'étude d'un cas déterminé de centrale sans faire entrer en comparaison la turbine. Mais il y a lieu, d'après M. Gérard, d'être très circonspect quant au choix à faire. Chaque cas nécessite un examen approfondi de la question et il n'est pas possible de donner une solution générale du problème, d'autant moins que la plus économique des turbines, la Curtis, n'est pas encore construite de manière courante en Europe. La turbine aura cependant toujours l'avantage que son coût net sera beaucoup plus bas, grâce à la simplicité de sa construction. Comme la turbine est le plus léger de tous les moteurs en même temps que le plus simple, son prix ne peut manquer de décroître à l'avenir.

L'industrie électrique dans toutes ses branches se ressentira heureusement de l'abaissement du prix de premier établissement des centrales. M. Gérard déclare qu'il y a un léger écart entre la consommation des meilleures turbines et celle des meilleures machines à vapeur, mais cet écart pourrait, à son avis, être compensé facilement en faveur de la turbine par d'autres facteurs, notamment par les prix qui, jusqu'à présent, sont, en Europe, aussi élevés que ceux des machines à piston. M. Gérard estime cependant qu'il y a lieu de se montrer très réservé quant aux résultats ultimes de l'emploi de la haute surchauffe. La nécessité de cet élément est évidente : pour les deux concurrents, ils constituent les facteurs certains d'économie de vapeur. Jusqu'à quelle limite ces éléments donnent-ils non l'économie de vapeur, mais l'économie de combustible, résultat réel cherché ? A quel point des charges d'entretien et de renouvellement, les surchauffeurs altéreront-ils l'économie obtenue sous le rapport de vapeur ? Ce sont là des inconnues, et des inconnues relativement plus obscures pour la turbine que pour la machine à vapeur au moment actuel.

M. Gérard constate aussi que les constructeurs belges et suisses peuvent opposer à la turbine anglaise ou américaine des moteurs plus économiques. Ils sont les seuls vainqueurs momentanés de la lutte. Les électriciens du monde entier assistent avec intérêt à ce duel entre la turbine et la machine à piston. Enfin, M. Gérard déclare aussi, et il a raison, que quelle que soit l'issue de la lutte, il ne peut y avoir de grand développement commercial tant qu'il n'y aura pas une baisse importante dans le prix des machines finies, ce qui permettra au public et à l'industrie électrique en général de participer aux avantages des méthodes perfectionnées.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant: A. BONNET.

Tome XLI. · Samedi 22 Octobre 1904. 11e Année. — N° 43

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES MOTEURS A GAZ A DOUBLE EFFET

Le moteur Lenoir de 1860 était déjà à double effet ; son cycle sans compression permettait du reste une marche à deux temps, de sorte que le piston recevait une poussée à chaque coup, soit deux impulsions par tour de manivelle ; ce remarquable moteur se trouvait par suite dans des conditions aussi avantageuses à cet égard que la machine à vapeur. Mais l'élévation excessive de la température des parois du cylindre obligea bientôt les constructeurs à ne faire agir le gaz tonnant que sur une seule face du piston, et le simple effet fut considéré dès lors comme le type obligé des moteurs à gaz. L'application générale du cycle de Beau de Rochas et d'Otto, dont la période embrassait quatre temps, eut pour conséquence de ne plus fournir qu'une seule poussée par quatre coups de piston, soit une impulsion pour deux révolutions du moteur : de ce chef, le moteur à gaz se trouvait dans un réel état d'infériorité par rapport à la machine à vapeur, au double point de vue de la puissance et de la régularité. C'est en vain que Dugald Clerk essaya de corriger ce défaut spécifique en créant un moteur à deux temps, qui opérait sa compression dans un cylindre spécial : le développement de ce genre de moteurs fut paralysé par la médiocrité de son rendement thermique et les quatre temps prévalurent partout, malgré les objections auxquelles donnait lieu cette impulsion unique pour deux tours de manivelle.

Il est vrai que le fonctionnement de ces machines fut grandement amélioré par les constructeurs que guidait une théorie très simple, mais précise et suffisamment sûre pour la pratique ; en comprimant de plus en plus des mélanges convenablement appauvris, en

opérant des détentes longues et complètes et en accélérant la vitesse, on obtint des résultats remarquables à tous points de vue. Non seulement le rendement thermique effectif dépassait 30 pour cent (alors que la meilleure machine à vapeur surchauffée n'atteignait pas 21 pour cent), mais le rendement organique montait à 85 et même 87 pour cent contre toute espérance, et l'on réalisait une douceur de marche, une régularité et une sécurité de fonctionnement qui réhabilita les moteurs à explosion et les quatre temps dans bien des esprits restés soupçonneux jusqu'alors. Malgré tout, les cylindres ne prenaient pas un diamètre excessif par suite des grandes vitesses adoptées, et surtout des fortes pressions exercées sur le piston : en effet, les diagrammes indiquaient de 6 à 8 kilogs de pression moyenne, suivant le degré de compression et la composition du mélange, alors que cette pression ne dépasse pas 5 kilogs dans une machine à vapeur monocylindre, alimentée de vapeur à 8 kilogs de pression, et 2,5 kilogs dans l'ensemble d'une machine à vapeur à triple expansion recevant de la vapeur à 12 kilogs dans son premier cylindre.

Ces conditions de fonctionnement permirent à Delamare-Deboutteville d'établir ses fameux moteurs monocylindriques ; celui de 100 chevaux de l'Exposition de 1889 mesurait 575 m/m de diamètre ; la course du piston était de 0m,950 et la vitesse de régime avait été portée à 107 tours ; le célèbre moteur de Pantin de 220 chevaux avait 870 m/m de diamètre, 1 mètre de course et il faisait 100 révolutions par minute ; enfin le moteur Cockerill, exposé à Paris en 1900, capable de développer 650 chevaux au gaz de haut fourneau, atteignait 1300 m/m de diamètre et 1m,400 de course pour 95 révolutions : ces dimensions n'ont pas été dépassées. Elles ont paru monstrueuses à quelques ingénieurs, qui faisaient observer que le piston du moteur de 1300 m/m subissait une pression de 331.825 kilogs pour une poussée explosive de 25 kilogs : aussi fallut-il donner à la tige du piston un diamètre de 240 m/m, à l'arbre de couche un diamètre de 460 m/m et au volant un poids de 33 tonnes. La plupart des constructeurs préférèrent multiplier les cylindres plutôt que d'aborder l'établissement de machines aussi massives : il y ont gagné moins de réputation, mais plus d'argent et ils se sont épargné de graves soucis.

Mais pourquoi ne pas revenir au double effet, alors que l'atténuation des mélanges, l'allongement de la détente et une réfrigération plus rationnelle des parois permettait d'abaisser considérablement la température du cylindre ? C'est le raisonnement que tint M. Letombe et il créa son moteur à double effet, duplex et triplex, qui fut caractérisé par une notable réduction de masse, par un moindre encombrement et une marche régulière. Le moteur de 250 chevaux, que j'ai essayé aux ateliers de la Compagnie de Fives-Lille en 1902, avait 600 m/m de diamètre de cylindre et 0m,80 de course de piston ; il faisait 130 tours par minute, et je lui trouvai une consommation remarquable de 372 grammes d'anthracite belge par cheval-heure effectif. L'exemple de M. Letombe fut suivi rapidement par plusieurs ingénieurs, qui firent des moteurs *duplex* de divers types, généralement bien dessinés, ingénieusement conçus et réellement économiques : les heureux résultats obtenus démontrèrent que l'on était entré dans une bonne voie et, dès 1902, les principales maisons de construction s'y lancèrent définitivement ; c'étaient entr'autres la Compagnie des moteurs Otto à Deutz, la Société de construction de Nuremberg, la Société Kœrting et la Société Cockerill elle-même.

Le moteur à double effet a brillamment répondu aux espérances des ingénieurs : on a économisé de la masse et du volume, sans rien sacrifier d'ailleurs ; il nous sera facile de le démontrer.

La maison Otto, de Deutz, fait développer sans aucun surmenage 250 chevaux effectifs à une machine dont voici les principales données de construction.

Diamètre du cylindre : 540 m/m.
Course du piston : 0^{m},700.
Nombre de tours normal : 150 par minute
Poids par cheval effectif : 80 kilogs

Cette belle machine, à 4 temps et à double effet, est alimentée par aspiration de gaz pauvre, fourni par un gazogène de Deutz, comportant simplement une cuve à évaporateur intérieur et deux scrubbers à coke, sans autre appareil d'épuration : le fonctionnement de ce groupe est irréprochable, ainsi que nous le démontrerons ci-après. Le poids par unité de puissance est réduit de plus de moitié comparativement aux moteurs à simple effet : mais il diminue considérablement pour les moteurs à deux ou quatre cylindres accouplés parallèlement ou disposés en tandem deux par deux. La Compagnie Otto développe généralement 150 chevaux par effet, soit 300 par cylindre, ce qui lui permet d'établir des moteurs de 120 chevaux fort ramassés, composés de deux machines tandem (*Zwilling-tandem*) donnant une impulsion motrice par demi révolution ; mais on pourrait obtenir 1500 chevaux par cylindre, ce qui permet d'envisager la construction de groupes de 6000 chevaux.

La Compagnie de Nuremberg a créé une série de moteurs à deux cylindres en tandem dont nous rapprochons ci-dessous les principales dimensions :

Puissance en chevaux effectifs........	350	530	870	1050	1200	1500	1850
Diamètre des cylindres	0^{m}.510	0.630	0.750	0.810	0.870	0.950	0.1030
Course du piston..	0^{m}.650	0.750	0 900	1.000	1.100	1.200	1.300
Nombre de tours par minute..........	150	125	120	110	100	95	90
Longueur totale.......	10^{m}.00	11.15	13.00	14.25	15.50	16.75	18.00
Largeur totale......	4^{m}.17	4.52	4.95	5.20	5.45	5.70	5.95
Hauteur....................	2^{m}.10	2.35	2.66	2.80	3.00	3.25	3.50

Le dernier type de ces belles machines développe donc 925 chevaux par cylindre, alors que son diamètre ne mesure que 1030 m/m; le progrès sur le modèle Delamare-Deboutteville à simple effet est par suite considérable.

Les ateliers John Cockerill l'ont reconnu, puisqu'ils ont établi un type de 1200 chevaux, composé de deux cylindres en tandem à double effet, de 100 m/m de diamètre, 1^{m},100 de course, faisant 90 tours par minute. Leurs concessionnaires français et étrangers ont obéi à la même idée et nous aurons prochainement à décrire les puissantes machines des aciéries de Longwy, construites sur les dessins de M. Lefebvre, par les anciens ateliers Cail (à Douai), dont il est le technicien, par la Société Alsacienne et par Le Creusot. Citons encore les moteurs à double effet Ehrhardt-Sehmer de Saarbrück, et Sargent de New-York : mais cette liste sera prochainement incomplète, attendu que les meilleurs constructeurs étudient et préparent en ce moment des moteurs à quatre temps à double effet.

C'est aux deux temps que A. Von Œchelhaeuser et la maison Kœrting ont demandé la solution du problème des grandes puissances : les résultats obtenus ont été ce que la théorie faisait prévoir ; une marche admirablement régulière et silencieuse et une consommation de calories relativement grande. En se plaçant à un point de vue plus essentiellement mécanique, donc plus pratique encore, ces types à deux temps le cèdent aux quatre temps par la complexité plus grande de leurs organes et la multiplication de leurs cylindres ; les difficultés de la compression dans des cylindres distincts, la nécessité du balayage

des résidus, les obligations qu'impose la marche à vide, etc. constituent les points faibles des moteurs de cette espèce (1).

Leurs dimensions sont d'ailleurs considérables, ainsi qu'en peut en juger par les chiffres qui suivent.

Moteur Kœrting de 300 chevaux effectifs

Diamètre du cylindre moteur :	545 m/m
Course du piston — :	0m, 965
Diamètre du cylindre de la pompe à air :	620 m/m
— — — — à gaz :	495 m/m
Course commune des deux pistons :	0m, 700

Moteur Von Œchelhaeuser de 500 chevaux effectifs.

Diamètre du cylindre moteur :	675 m/m
Course du piston :	0m, 950
Diamètre du cylindre de la pompe à air :	1.140 m/m
— — — — à gaz :	590 m/m
Course commune des deux cylindres :	0m, 500 m/m

La vitesse de ces machines est de 100 à 105 tours par minute.

Le principal argument pratique qu'on a fait valoir contre ces machines à deux temps repose en réalité sur la disposition des orifices d'échappement, qui forment une couronne sur le pourtour du cylindre : on a fait remarquer qu'au lieu des soupapes de décharge supprimées dans ces moteurs on s'impose pour le moins deux organes de distribution pour les pompes à air et à gaz. Sans vouloir exagérer ces critiques, il faut pourtant reconnaître qu'elles ne manquent pas de fondement : aussi croyons-nous que les moteurs à quatre temps et à double effet sont appelés à prévaloir (2).

La principale difficulté que présentait le double effet pour les quatre temps est surmontée aujourd'hui : nous voulons parler de l'échauffement des parois du cylindre et des organes de distribution. Il est réduit au minimum, grâce à une irrigation complète et rationnelle de toutes les pièces métalliques exposées à prendre une température élevée : pour cela, on a fait circuler l'eau tout autour des cylindres et des boîtes à soupapes, dans le piston et le long de sa tige, dans les soupapes, dans leurs sièges et le long de leurs tiges, en veillant avec soin à ce que la réfrigération soit méthodique et efficace. On évite toute surépaisseur des pièces, pouvant faire obstacle à la transmission du calorique ; on se garde contre tout cul-de-sac provoquant une stagnation de l'eau et pouvant s'encombrer de calcaire par incrustation. D'autre part, les pistons, bien qu'alourdis par l'eau qui les traverse, frottent légèrement sur les parois du cylindre, attendu que leur poids porte surtout sur les glissières extérieures servant de guidage aux tiges ; les glissières ont donc pris une importance considérable. Ajoutons enfin que les cylindres présentent des ouvertures latérales qui facilitent leur visite intérieure. Chacun des fonds de cylindre porte ses boîtes à soupapes, montées au-dessus et au-dessous, dont les mécanismes de distribution sont indépendants, de telle sorte que l'on n'a pas à y toucher quand il faut ouvrir un cylindre ; on peut même supprimer à volonté la commande d'un effet quelconque, en cas de besoin, et marcher momentanément en simplex.

(1) Voir à ce sujet ce que nous avons dit dans la 4e édition de notre Traité des moteurs à gaz et à pétrole auquel nous sommes obligé de renvoyer le lecteur.

(2) Le rendement organique de ces moteurs à deux temps ne dépasse généralement pas 72 pour cent : il est donc faible

Pour ce qui est du mode de distribution et de réglage, on peut classer ces grands moteurs en deux catégories : les uns se règlent par modification de la *qualité* du mélange, la composition variant selon la charge ; les autres au contraire admettent en *quantité* variable un mélange de composition constante. Il importe pour les premiers que le mélange ne tombe jamais en dessous de sa limite d'inflammabilité, sinon il se produirait des ratés d'allumage fâcheux à tous égards ; ces moteurs présentent l'avantage de garder toujours la même compression, quelle que soit la charge. Les seconds au contraire ont une compression décroissante, donc un rendement moindre, au fur et à mesure que le travail diminue : c'est une imperfection générique de ce type. Pratiquement ce mode de réglage a aussi le défaut de produire un vide relatif dans le cylindre, lors des courtes admissions, ce qui oblige d'appuyer sur les soupapes pour les empêcher de se lever d'elles-mêmes.

On peut corriger ces conséquences de l'admission en quantité variable de la manière qui suit : on complétera à chaque coup le volume admis par un appel surnuméraire d'air pur, qu'il s'agira de cantonner dans le cylindre contre le piston moteur, en l'empêchant de se mêler à la charge tonnante ; cette dernière condition se réalise plus ou moins bien, mais du moins la compression reste-t-elle rigoureusement constante. Au lieu d'admettre de l'air pur, on peut retenir des gaz brûlés, ce qui permet de bénéficier de leur calorique. J'ai discuté théoriquement la valeur respective de ces différents modes de réglage : il est évident que la constance de la compression est une condition excellente de fonctionnement, mais l'admission de mélanges trop pauvres peut donner lieu d'autre part à des combustions imparfaites, dont le résultat est quelquefois désastreux. En somme, le dispositif mixte, caractérisé par un appel d'air ou par la conservation de gaz inertes nous paraît le meilleur, à condition toutefois que les mécanismes ne se compliquent pas outre mesure et que les charges de gaz ne se diffusent pas entièrement l'une dans l'autre.

D'ingénieuses admissions à déclic mettent la distribution sous la dépendance du régulateur; ces appareils sont copiés sur ceux qu'emploient depuis de longues années les machines à vapeur à soupapes, avec lesquelles ces nouveaux moteurs ont, du reste, une grande ressemblance de formes extérieures. Ils possèdent une régularité de marche absolument comparable à la leur et possèdent un rendement organique égal.

On pouvait craindre que le développement donné à la circulation d'eau n'abaissât le rendement thermique, mais il n'en est rien, attendu que les progrès de la réfrigération portent surtout sur quelques organes, dont on empêche un échauffement trop grand, plutôt que sur les parois mêmes du cylindre, qui sont maintenues à la température habituelle des moteurs à simple effet, de 35 à 60°. Ce résultat est obtenu dans d'excellentes conditions économiques, par une dépense qui n'excède généralement pas 40 litres d'eau par cheval-heure effectif.

La consommation de calories par cheval-heure effectif est remarquablement réduite : à pleine charge, elle est voisine de 2250 calories, chiffre qui correspond à un rendement thermique de 28 pour cent ; en travail indiqué, la consommation serait de 1900 à 2000 calories (1).

A l'appui de tout ce qui précède, je produirai les principaux éléments d'un rapport que j'ai dressé, en collaboration avec M. R. Mathot, à la suite des expériences que nous avons effectuées à Deutz, sur un moteur Otto à double effet, à la date des 14-15 mars 1904. Cette belle machine, dont j'ai fait connaître ci-dessus les données de construction, prenait

(1) A noter que la machine à vapeur Van de Kerchove, essayée à Gand en 1903, par M. Schrœter, alimentée de vapeur surchauffée à 350° a consommé 2992 calories : le savant professeur a pourtant qualifié ce résultat d'extraordinairement beau. Il se rapporte au cheval indiqué.

son gaz dans un gazogène par aspiration, alimenté de charbon Bonne-Espérance (de Herstal, près Liège), auquel j'ai trouvé un pouvoir supérieur de 8100 calories, et qui renfermait 3,1 pour cent de cendres et 17,1 de matières volatiles. Or, voici les chiffres les plus intéressants relevés au cours de notre dernier essai de dix heures.

Puissance moyenne mesurée au frein : 222,83 chevaux effectifs

Au gazogène :

Consommation horaire moyenne, de charbon :	72k,67
— — — d'eau, à l'évaporateur :	63k,3
— — — — , aux scrubbers :	1.429k,
Température des gaz à la sortie des scrubbers :	170°

Pouvoir supérieur du gaz : de 1265 à 1358 calories.

Au moteur à double effet :

Consommation de charbon brut, par cheval-heure effectif	326 gr. 12
— — (humidité déduite) —	319 gr. 60
— d'eau, par cheval-heure effectif au cylindre	20 lit. 87
— — — — au piston	7 lit. 85

La consommation totale d'eau au gazogène et au moteur a été de 35 lit, 42 par cheval-heure effectif : l'eau sortait des enveloppes des soupapes à 60°,75 en moyenne ; sa température était de 51°, 41 à la sortie du piston ; à l'entrée du moteur, nous avons relevé 13°.

La régularité de marche a été parfaite et le rendement thermique effectif du groupe gazogène-moteur est ressorti à 24,4 pour cent.

Ces chiffres remarquables serviront de conclusion à notre étude sur les moteurs à double effet : ils résument en effet les grands avantages que procure cette construction, basée sur l'emploi des quatre temps ; elle se généralisera rapidement, car elle constitue pour le moteur à gaz un nouvel élément de succès et un nouveau triomphe. AIMÉ WITZ.

ENROULEMENTS DES DYNAMOS A COURANT CONTINU *(suite)*

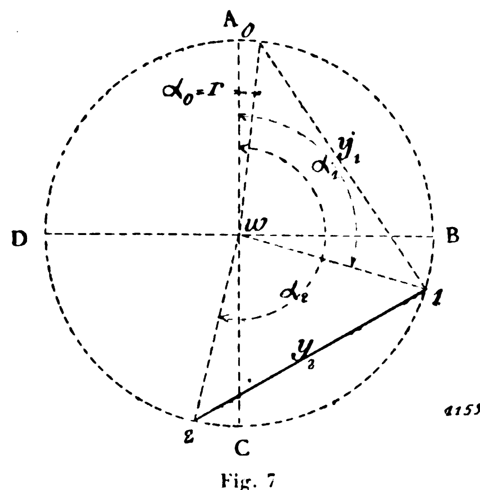


Fig. 7

b). PAS INÉGAUX. — Considérons comme précédemment une armature portant N génératrices, uniformément réparties sur sa surface, N étant pair. Nous allons déterminer les conditions que doivent remplir y_1 (pas arrière) et y_2 (pas avant), pour obtenir un enroulement composé de circuits ayant le même nombre de génératrices, toutes en tension dans chaque circuit.

Soit 0 la génératrice origine placée à droite de ωA et infiniment voisine de A (fig. 7) (1). Les considérations déjà faites, dans le cas des pas égaux, sur les positions respectives des génératrices successives de l'enroulement, s'appliquent ici intégralement. Nous n'y reviendrons donc pas.

Soient $\alpha_0, \alpha_1, \ldots, \alpha_n \ldots$ les angles que font les rayons $\omega 0$, $\omega 1$, $\omega 2$, ..., ωn, ... avec la ligne neutre ωA.

(1) Sur la figure 7, lire $\alpha_0 = \varepsilon$ au lieu de $\alpha_0 = r$.

Nous avons :

Génératrice	0)	$\alpha_0 = \varepsilon$
—	1)	$\alpha_1 = \varepsilon + y_1 \frac{2\pi}{N}$
—	2)	$\alpha_2 = \varepsilon + (y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N}$
—	3)	$\alpha_3 = \varepsilon + [(y_1 + y_2) + y_1] \frac{2\pi}{N}$
....		....
—	$2n-1$)	$\alpha_{2n-1} = \varepsilon + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N}$
—	$2n$)	$\alpha_{2n} = \varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N}$
—	$2n+1$)	$\alpha_{2n+1} = \varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N}$

Pour que les génératrices 0, 1, 2 ....., $2n, 2n+1$, ... aient leurs f.e.m en tension avec celle de 0, il faut, comme dans le cas des pas égaux :

génératrice	1)	$\frac{\pi}{p} < \varepsilon + y_1 \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$
—	2)	$\frac{2\pi}{p} < \varepsilon + (y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$
—	3)	$\frac{3\pi}{p} < \varepsilon + [(y_1 + y_2) + y_1] \frac{2\pi}{N} < \frac{4\pi}{p}$
....		....
—	$2n-1$)	$(2n-1)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N} < 2n\frac{\pi}{p}$
—	$2n$)	$2n\frac{\pi}{p} < \varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} < (2n+1)\frac{\pi}{p}$
—	$2n+1$)	$(2n+1)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N} < (2n+2)\frac{\pi}{p}$
....		....

Nous voulons au moins 3 génératrices en tension ; il faut donc que :

génératrice 1) $\frac{\pi}{p} < \varepsilon + y_1 \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$ d'où $y_1 \frac{2\pi}{N} \geq \frac{\pi}{p}$ et $y_1 \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$

— 2) $\frac{2\pi}{p} < \varepsilon + (y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$ d'où $(y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} \geq \frac{2\pi}{p}$ et $(y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$

Les conditions : $y_1 \frac{2\pi}{N} \geq \frac{\pi}{p}$ et $(y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} \geq \frac{2\pi}{p}$ étant remplies, les 1[res] parties des inégalités sont toutes vérifiées. Nous n'avons, par suite, à considérer que les deuxièmes parties.

Remarquons que si l'on avait : $(y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} = \frac{2\pi}{p}$, les 2 premières inégalités étant satisfaites, toutes le autres le seraient. On aurait donc des génératrices toutes en tension et leur nombre serait $2p$. Ecartons ce cas très particulier et prenons :

$$(y_1 + y_2) \frac{2\pi}{N} > \frac{2\pi}{p}$$

Les inégalités ont des formes générales différentes, suivant qu'elles se rapportent à une

génératrice affectée d'un numéro pair ou d'un numéro impair. Considérons les inégalités relatives aux génératrices $2n - 1$, $2n$, $2n + 1$.

génératrice	$2n - 1)$	$\varepsilon + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < 2n\frac{\pi}{p}$
—	$2n)$	$\varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 + y_2)\frac{2\pi}{N} < (2n+1)\frac{\pi}{p}$
—	$2n + 1)$	$\varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < (2n+2)\frac{\pi}{p}$

Dès qu'une inégalité relative à une génératrice paire $2n)$ change de sens, il en est de même de toutes celles qui suivent, car :

$$y_1\frac{2\pi}{N} \geqq \frac{\pi}{p} \quad \text{et} \quad (y_1 + y_2)\frac{2\pi}{N} > \frac{2\pi}{p}$$

Si le changement de sens commence à une génératrice impaire $2n - 1$, les inégalités qui se rapportent aux génératrices $2n + 1$, $2n + 3$, ... $2n + 5$ changent de sens, car :

$$(y_1 + y_2)\frac{2\pi}{N} > \frac{2\pi}{p};$$

mais il peut arriver que les inégalités qui correspondent aux génératrices $2n$, $2n + 2$, $2n + 4$, ..., conservent le leur. On s'en rend compte en remarquant qu'*a priori*, rien ne s'oppose à ce que $y_2\frac{2\pi}{N}$ soit pris $< \frac{\pi}{p}$.

Si l'on veut avoir des circuits contenant q génératrices *toutes en tension*, il est nécessaire que les oppositions se produisent aux génératrices q, $2q$, $3q$ ....., et à celles-là seulement.

Si q est pair, le premier circuit contiendra alors q génératrices en tension, à condition que la génératrice $q - 1$ soit encore en tension avec la génératrice 0.

Si q est impair, il faudra réaliser les conditions suivantes pour avoir q génératrices en tension dans le premier circuit.

1°)	Génératrice	q en opposition avec la génératrice	0
2°)	—	$q - 1$ (paire) en tension avec la génératrice	0
3°)	—	$q - 2$ (impaire) en tension avec la génératrice	0
4°)	—	$q + 1$ (paire) en opposition avec la génératrice......	0

Ces quatre conditions sont nécessaires. Pour s'en rendre compte, il suffit de se reporter à ce qui a été dit ci-dessus, au sujet du changement de sens des inégalités d'ordres pair et impair. Ceci nous conduit à considérer deux cas :

α) *Le nombre de génératrices de chaque circuit est pair.*

β) *Le nombre de génératrices de chaque circuit est impair.*

α) *Le nombre de génératrices de chaque circuit est pair.*

$2n$ étant ce nombre, et les génératrices successives de l'enroulement étant numérotées 0, 1, 2, ... $2n$, ..., il faut que l'opposition commence à la génératrice $2n$. L'inégalité correspondante doit donc changer de sens [1].

[1] L'inégalité ne peut devenir une égalité. Dans ce cas, en effet, on aurait :

$$\varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 + y_2)\frac{2\pi}{N} = (2n+1)\frac{\pi}{p}$$

ou

$$y_1 + y_2 = \frac{2n+1}{2n}\cdot\frac{N}{p} - \frac{\varepsilon N}{2\pi n}$$

$y_1 + y_2$ doit être entier. Si $\frac{2n+1}{2n}\frac{N}{p}$ est entier, cette égalité est inadmissible. En effet ε est infiniment petit et par suite $< \frac{2\pi n}{N}$ et $\frac{\varepsilon N}{2\pi n}$ est < 1, $y_1 + y_2$ ne pourrait être entier.

De plus, l'inégalité relative à $2n - 1$ doit conserver le sien. Il faut par suite que :

$$\delta) \text{ génératrice } 2n) \qquad \varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 + y_2)\frac{2\pi}{N} > (2n+1)\frac{\pi}{p}$$

$$\gamma) \qquad - \qquad 2n-1) \qquad \varepsilon + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1+y_2)+y_1\right]\frac{2\pi}{N} < 2n\frac{\pi}{p}$$

De δ) on déduit :

$$y_1 + y_2 \geqq \frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$$

Nous prendrons le signe = qui donne pour $y_1 + y_2$ la plus petite valeur satisfaisant à δ) (1).

Si $\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$ n'est pas entier, il faut pour avoir le nombre entier immédiatement inférieur, en retrancher au moins $\frac{1}{pn}$ $\left(\text{car } \frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p} = \frac{(2n+1)\frac{N}{2}}{pn}\right)$ et $\frac{1}{pn}$ est certainement $> \frac{\varepsilon N}{2\pi n}$, puisque, par hypothèse ε est infiniment petit, et qu'on peut d'ailleurs, en tous cas, le prendre tel que $\frac{\varepsilon N}{2\pi n} < \frac{1}{pn}$ ou $\varepsilon < \frac{2\pi}{pN}$. Il en résulte qu'en retranchant $\frac{\varepsilon N}{2\pi n}$ de $\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$, on ne pourra avoir un nombre entier et que l'égalité est encore inadmissible.

(1) On ne peut d'ailleurs prendre pour $y_1 + y_2$ une valeur différente de $\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$. Supposons, en effet, que l'on prenne :

$$y_1 + y_2 = \frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p} + \frac{\lambda}{\mu}, \quad \frac{\lambda}{\mu} \text{ étant } > 0 \text{ et } y_1 + y_2 \text{ étant entier.}$$

Cette valeur de $y_1 + y_2$ satisfait à l'inégalité δ); il faut en outre que l'inégalité qui correspond à la génératrice $2n - 1$ soit vérifiée, et *a fortiori*, celle qui correspond à la génératrice $2n - 2$. On doit donc avoir :

$$\varepsilon + \frac{2n-2}{2}(y_1+y_2)\frac{2\pi}{N} < (2n-1)\frac{\pi}{p}$$

ou :

$$(n-1)\left(\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p} + \frac{\lambda}{\mu}\right)\frac{2\pi}{N} < (2n-1)\frac{\pi}{p}$$

$$\frac{\lambda}{\mu} < \frac{N}{p}\left(\frac{2n-1}{2n-2} - \frac{2n+1}{2n}\right) \quad \text{ou enfin :} \quad \frac{\lambda}{\mu} < \frac{N}{2p} \cdot \frac{1}{n(n-1)}$$

$\frac{\lambda}{\mu}$ satisfaisant à cette condition, il y aura opposition à la génératrice $2n$ si l'inégalité relative à $2n - 1$) est vérifiée. Supposons qu'il en soit ainsi. La 2me opposition doit se produire à la génératrice $4n$), ce qui exige que l'inégalité relative à $4n$) change de sens, que l'inégalité relative à $4n - 1$) et *a fortiori*, celle relative à $4n - 2$) conserve le sien. On doit donc avoir :

$$\text{génératrice} \quad 4n) \quad \varepsilon + \frac{4n}{2}(y_1+y_2)\frac{2\pi}{N} > (4n+2)\frac{\pi}{p} \quad \text{ou :} \quad 2n(y_1+y_2)\frac{2\pi}{N} > (4n+2)\frac{\pi}{p}$$

$$- \quad 4n-2) \quad \varepsilon + \frac{4n-2}{2}(y_1+y_2)\frac{2\pi}{N} < 4n\frac{\pi}{p} \quad \text{ou :} \quad (2n-1)(y_1+y_2)\frac{2\pi}{N} < 4n\frac{\pi}{p}$$

La 1re de ces inégalités est satisfaite, car elle est identique à δ). Pour que la 2me le soit, il faut :

$$(2n-1)\left(\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p} + \frac{\lambda}{\mu}\right) < \frac{2Nn}{p}$$

ou :

$$\frac{\lambda}{\mu} < \frac{N}{p}\left(\frac{2n}{2n-1} - \frac{2n+1}{2n}\right) \quad \text{ou enfin} \quad \frac{\lambda}{\mu} < \frac{N}{2p} \cdot \frac{1}{n(2n-1)}$$

Pour que la 3me opposition puisse se produire à $6n$), il est de même nécessaire que : $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{N}{2p} \cdot \frac{1}{n(3n-1)}$, et pour que la $2p_1$me opposition se produise à la génératrice $2n \times 2p_1$, c'est-à-dire à la génératrice origine 0 ; il faut :

$\frac{\lambda}{\mu} < \frac{N}{2p} \cdot \frac{1}{n(2p_1 n - 1)}$ ou $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{N}{2p} \cdot \frac{1}{n(N-1)}$. Comme $N > 2$, $\frac{N}{N-1}$ est < 2 et $\frac{\lambda}{\mu} < \frac{1}{pn}$, $\frac{\lambda}{\mu}$ doit donc être $< \frac{1}{pn}$.

Si $\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$ est entier, on devra donc prendre $y_1 + y_2 = \frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$, car la valeur immédiatement supérieure s'obtient en ajoutant 1 qui est $> \frac{1}{pn}$. Si $\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$ n'est pas entier, aucune valeur ne convient pour $y_1 + y_2$, car pour rendre $\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$ ou : $\frac{(2n+1)\frac{N}{2n}}{p}$ entier, il faut ajouter au moins $\frac{1}{p}$ qui est $> \frac{1}{pn}$.

***

Remplaçant $y_1 + y_2$ par cette valeur dans γ), on doit avoir :

$$\iota + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1+y_2)+y_1\right]\frac{2\pi}{N} < 2n\frac{\pi}{p}$$

ou :

$$(n-1)\cdot\frac{2n+1}{2n}\cdot\frac{N}{p}+y_1<\frac{Nn}{p}$$

$$y_1<\frac{Nn}{p}-(n-1)\frac{2n+1}{2n}\cdot\frac{N}{p}$$

$$y_1<\frac{N}{p}\cdot\frac{n+1}{2n}$$

Si l'on donne à $y_1 + y_2$ la valeur $\frac{2n+1}{2n}\cdot\frac{N}{p}$ et si l'on prend $y_1 < \frac{N}{p}\cdot\frac{n+1}{2n}$ on aura donc opposition à la génératrice $2n$). A partir de la génératrice $2n$), les f. e. m. des génératrices successives de l'enroulement seront en tension avec celle de $2n$), jusqu'à ce qu'il se produise une nouvelle opposition et ainsi de suite. On montre de la même façon que pour le cas des pas égaux, que la 2me opposition se produit à la génératrice $4n$), la 3me à la génératrice $6n$... etc. Tous les groupes ou circuits obtenus contiennent donc le même nombre de génératrices, *toutes en tension* dans chaque circuit.

Si l'on veut obtenir $2p_1$ circuits, chacun d'eux contiendra $\frac{N}{2p_1}$ génératrices $\left(\frac{N}{2p_1}\right.$ étant pair et $= 2n$). Remplaçant $2n$) par sa valeur $\frac{N}{2p_1}$ dans l'expression de $y_1 + y_2$, il vient :

$$y_1+y_2=\frac{\frac{N}{2p_1}+1}{\frac{N}{2p_1}}\cdot\frac{N}{p}=\frac{N+2p_1}{p}.$$

On a la condition :

$$y_1<\frac{N}{p}\cdot\frac{n+1}{2n}\quad\text{ou}\quad y_1<\frac{N+4p_1}{2p}.$$

(Cette condition équivaut d'ailleurs à celle-ci : $y_2 > \frac{N}{2p}$ ainsi qu'on le voit facilement.)

Remarque I. — Si l'on prend la génératrice 0 à gauche de ωA, on arrive par le même raisonnement à :

$$y_1+y_2=\frac{N-2p_1}{p}$$

$$y_1>\frac{N-4p_1}{2p}.$$

La formule générale est donc :

$$y_1+y_2=\frac{N\pm 2p_1}{p}\ \text{avec les conditions}\ \begin{cases} y_1<\dfrac{N+4p_1}{2p} & \text{(correspondant au signe +)}\\ y_1>\dfrac{N-4p_1}{2p} & \text{(correspondant au signe —)}\end{cases}$$

Remarque II. — Les conditions trouvées précédemment exigent que :

$$y_1 = y_2$$

En effet :

$$y_1 + y_2 = \frac{N \pm 2p_1}{p} \text{ avec } \begin{cases} \left.\begin{array}{l} y_1 < \dfrac{N + 4p_1}{2p} \\ y_1 \geq \dfrac{N}{2p} \end{array}\right\} \text{(si l'on prend le signe +)} \\ \left.\begin{array}{l} y_1 > \dfrac{N - 4p_1}{2p} \\ y_1 \leq \dfrac{N}{2p} \end{array}\right\} \text{(si l'on prend le signe —)} \end{cases}$$

Par suite y_1 est toujours compris entre deux limites différant de $\frac{2p_1}{p}$.

D'autre part $\frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{N \pm 2p_1}{2p}$ doit être entier. Il diffère des limites de y_1 de $\frac{p_1}{p}$. Or la plus grande valeur de p_1 est p (1). Il en résulte que la plus grande différence qui puisse exister entre y_1 et $\frac{y_1 + y_2}{2}$ est 1, et cela correspond au cas où $p_1 = p$. Mais alors $\frac{N}{2p}$, valeur limite de y_1, est pair $\left(\frac{N}{2p_1} = 2n\right)$ et ne peut convenir pour y_1. Il s'en suit que, dans tous les cas $(p_1 \leq p)$, la seule valeur acceptable pour y_1 est :

$$y_1 = \frac{y_1 + y_2}{2} \text{ d'où } y_1 = y_2$$

β) *Le nombre de génératrices de chaque circuit est impair.* Soit $2n + 1$ ce nombre. Supposons qu'on ait réalisé un enroulement, comprenant $2p_1$ circuits, formés chacun de $\frac{N}{2p_1} = 2n + 1$ génératrices, toutes en tension.

Les génératrices étant numérotées 0, 1, 2......., le deuxième circuit comprendra les génératrices $2n + 1$, $2n + 2$......., $4n + 1$, et les f. e. m. de ces génératrices seront en opposition avec les f. e. m. des génératrices 0, 1, 2......., $2n$. De même le troisième circuit comprendra les génératrices $4n + 2$, $4n + 3$......., $6n + 2$, et les f. e. m. de ces génératrices seront en opposition avec les f. e. m. des génératrices $2n + 1$......., $4n + 1$. Ainsi de suite pour tous les circuits composant l'enroulement.

Écrivons les inégalités générales relatives aux génératrices $2n - 1$, $2n$, $2n + 1$.

$$\begin{array}{lll} \text{génératrice } 2n - 1) & \varepsilon + \left[\dfrac{2n - 2}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\dfrac{2\pi}{N} < 2n\dfrac{\pi}{p} \\ \quad — \quad 2n) & \varepsilon + \dfrac{2n}{2}(y_1 + y_2)\dfrac{2\pi}{N} < (2n + 1)\dfrac{\pi}{p} \\ \quad — \quad 2n + 1) & \varepsilon + \left[\dfrac{2n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\dfrac{2\pi}{N} < (2n + 2)\dfrac{\pi}{p} \end{array}$$

---

(1) En effet :

$$\frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{N \pm 2p_1}{2p} = \frac{2p_1(2n \pm 1)}{2p} = \frac{p_1}{p}(2n \pm 1), \left(\frac{N}{2p_1} = 2n\right)$$

et :

$$\frac{N}{2} = p_1 \times 2n$$

Pour satisfaire aux conditions géométriques, il faut $\begin{cases} y_1 \text{ et } y_2 \text{ impairs} \\ \dfrac{y_1 + y_2}{2} \text{ premier avec } \dfrac{N}{2} \end{cases}$ $\frac{N}{2}$ contenant le facteur p_1, $\frac{y_1 + y_2}{2}$ ne peut être premier avec $\frac{N}{2}$ que si tous les facteurs de p_1 disparaissent dans le quotient $\frac{p_1}{p}$.

Cela exige :

$$p = p_1 K,$$

K étant un nombre entier *impair* divisant $2n \pm 1$, puisque $\frac{y_1 + y_2}{2}$ est entier.

La génératrice $2n + 1$) étant en opposition avec les précédentes, on aura :

$$(i) \qquad \varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} \geqq (2n+2)\frac{\pi}{p}$$

et :

$$\varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < (2n+3)\frac{\pi}{p}$$

Les génératrices $2n + 2$, $2n + 3$......., $4n + 1$, étant en tension avec $2n + 1$, on aura :

$$\text{génératrice } 2n+1) \qquad (2n+2)\frac{\pi}{p} \leqq \varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < (2n+3)\frac{\pi}{p}$$

$$\text{—} \quad 2n+2) \qquad (2n+3)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + \frac{2n+2}{2}(y_1 + y_2)\cdot\frac{2\pi}{N} < (2n+4)\frac{\pi}{p}$$

....

$$\text{—} \quad 4n+1) \qquad (4n+2)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + \left[\frac{4n}{2}(y_1 + y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < (4n+3)\frac{\pi}{p}$$

La génératrice $4n + 2$ étant en opposition avec $2n + 1$......., $4n + 1$, on aura :

$$(i') \qquad \varepsilon + \frac{4n+2}{2}(y_1 + y_2)\frac{2\pi}{N} \geqq (4n+4)\frac{\pi}{p}$$

et :

$$\varepsilon + \frac{4n+2}{2}(y_1 + y_2)\frac{2\pi}{N} < (4n+5)\frac{\pi}{p}$$

L'inégalité (i'), pour être satisfaite, exige que l'on ait :

$$y_1 + y_2 \geqq \frac{4n+4}{4n+2}\cdot\frac{N}{p}$$

Il faut prendre le signe $=$, pour que l'on puisse avoir opposition aux génératrices $4n + 2$, $8n + 4$, $12n + 6$....... (Même démonstration que dans le cas précédent α).

L'inégalité relative à $4n + 1$) devant aussi être vérifiée, on en tire :

$$(i'') \qquad y_1 < \frac{N + 4p_1}{2p} \quad \text{(en remarquant que } \frac{N}{2n+1} = 2p_1\text{)}$$

Remplaçant dans l'inégalité (i) $y_1 + y_2$ par sa valeur $\frac{4n+4}{4n+2}\cdot\frac{N}{p}$ ou $\frac{2n+2}{2n+1}\cdot\frac{N}{p}$, on a :

$$y_1 \geqq \frac{2n+2}{2p}\cdot N - n(y_1 + y_2) - \frac{\varepsilon N}{2\pi}$$

ou

$$y_1 \geqq \frac{2n+2}{2p}\cdot N - n\frac{2n+2}{2n+1}\cdot\frac{N}{p} - \frac{\varepsilon N}{2\pi}$$

ou :

$$y_1 \geqq \frac{2n+2}{2n+1}\cdot\frac{N}{2p} - \frac{\varepsilon N}{2\pi}$$

ou enfin :

$$y_1 \geqq \frac{y_1 + y_2}{2} - \frac{\varepsilon N}{2\pi}.$$

y_1 doit être entier, $\frac{y_1 + y_2}{2}$ aussi. ε est infiniment petit, $\frac{\varepsilon N}{2\pi}$ ou $\frac{\varepsilon}{\frac{2\pi}{N}}$ est < 1. La plus petite valeur

possible pour y_1 est donc :

$$y_1 = \frac{y_1+y_2}{2} = \frac{2n+2}{2n+1} \cdot \frac{N}{2p}.$$

Nous pouvons écrire :

$$(i'') \qquad y_1 \geq \frac{y_1+y_2}{2}$$

Sans poursuivre davantage cette analyse, et sans chercher à quelles autres conditions doivent satisfaire y_1 et y_2, nous pouvons démontrer maintenant qu'il faut nécessairement :

$$y_1 = y_2.$$

$2p_1$ étant le nombre de circuits, nous avons :

$$\frac{N}{2p_1} = 2n+1 \quad \text{ou :} \quad \frac{N}{2} = p_1(2n+1).$$

Pour satisfaire aux conditions géométriques, on a trouvé qu'il faut :

$$\begin{cases} y_1 \text{ et } y_2 \text{ impairs} \\ \dfrac{y_1+y_2}{2} \text{ premier avec } \dfrac{N}{2} \end{cases}$$

Or :

$$\frac{y_1+y_2}{2} = \frac{2n+2}{2n+1} \cdot \frac{N}{2p} = (2n+2)\frac{p_1}{p}$$

$\frac{y_1+y_2}{2}$ ne peut être premier avec $\frac{N}{2}$ que si $\frac{y_1+y_2}{2}$ ne contient aucun des facteurs de p_1. Il faut donc que :

$$p = p_1 K, \qquad \text{K étant un nombre entier}$$

Ceci posé, puisqu'on a :

$$(i'') \qquad y_1 \geq \frac{y_1+y_2}{2} \quad \text{ou} \quad y_1 \geq \frac{2n+2}{2n+1} \cdot \frac{N}{2p} \quad \text{ou :} \quad y_1 \geq \frac{N+2p_1}{2p}$$

$$(i') \qquad y_1 < \frac{N+4p_1}{2p}.$$

On voit que y_1 est compris entre deux nombres différant de $\frac{2p_1}{2p}$ ou $\frac{p_1}{p}$. Comme $p = p_1 K$, la plus grande valeur de $\frac{p_1}{p}$ est 1.

$\frac{N+2p_1}{2p} = \frac{y_1+y_2}{2}$ étant entier, il n'existe pas de nombre entier entre $\frac{N+2p_1}{2p}$ et $\frac{N+4p_1}{2p}$. D'autre part y_1 est inférieur à la limite supérieure $\frac{N+4p_1}{2p}$. On aura donc forcément :

$$y_1 = \frac{y_1+y_2}{2} = y_2$$

pour l'enroulement considéré.

Si d'ailleurs on prend $y_1 = y_2 = \frac{y_1+y_2}{2} = \frac{N+2p_1}{2p}$, on retombe sur le cas déjà étudié des pas égaux.

Donc ici encore, comme dans le cas α), on ne pourra réaliser l'enroulement qu'en employant des pas égaux.

Remarque. — On arrive à une conclusion identique, lorsqu'on prend la génératrice 0 à gauche de ωA.

Justin Marqueyrol
Ingénieur des Arts et Manufactures.

(*A suivre*)

BREVETS

Télégraphie sans fil adaptée au fonctionnement de machines à écrire. G. Musso. *The Illustrated Official Patents*, Juin 1904.

Le diagramme du dispositif employé à chaque poste et des connexions est représenté en fig. 1. La fig. 2 est la coupe du clavier de manipulation et du disque rotatif actionnant les touches de la machine à écrire.

Les touches du clavier de manipulation 2, 3, 4, etc., dont, pour plus de simplicité, 4 seulement sont représentées, sont munies de contacts isolés 7 qui, lorsque les touches sont levées, relient électriquement les bandes inférieures du clavier. L'une des extrémités de ces bandes est connectée par les conducteurs 10,65 à un circuit comprenant une pile 13 et un relais 12 ; l'autre extrémité est reliée par le conducteur 11 à un cercle métallique 24 serti dans un plateau circulaire fixe en matière isolante. Ce dernier porte en outre, encastrés à sa surface, 3 autres cercles métalliques 22, 23, 25 dont l'un, 25, est connecté par 65 au relais 12. Ce plateau est traversé au centre par une tige servant de pivot à un disque mobile 21, de la même dimension que lui, auquel un engrenage 29,30, actionné lui-même par un mouvement d'horlogerie, imprime un mouvement de rotation ; chacun des disques 21 des postes reliés est mû synchroniquement par un dispositif semblable. Les deux balais 22, 23, solidaires de 21, établissent le contact avec les cercles 24, 25 et les relient, par 37, 38, à l'enroulement 5 d'un électro polarisé fixé sur le disque mobile 21. A chaque fois que cet électro est excité, son armature 39, par l'action d'un ressort, projette le contact 41 qui la termine, contre des plots 42, 43 afin de fermer le circuit d'une des séries d'électros actionnant les touches du clavier de la machine à écrire réceptrice.

Des perforations 26, 27, pratiquées à la surface des cercles 22, 23 et à égale distance, reçoivent les doigts d'une fourche 16 terminant le levier d'une des touches 2, 3, 4, etc., En appuyant sur une de ces touches, les branches de la fourche pénètrent chacune dans un des trous correspondants 26, 27, et le ressort 18, en rapprochant leurs extrémités inférieures, leur donne une inclinaison suffisante pour permettre aux épaulements des pointes de s'accrocher aux rebords des cercles 22, 23. Les relations entre ces deux derniers sont établies lorsque, au cours de la rotation du disque, la plaque en biseau 31, fixée à sa partie

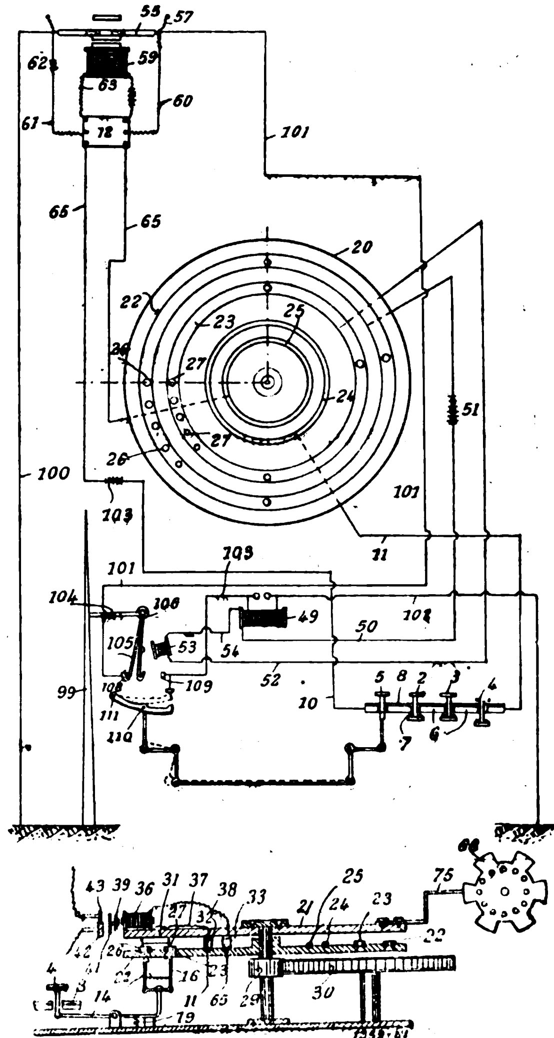


Fig. 1 et 2

inférieure, vient buter au passage sur les épaulements en leur faisant en même temps lâcher prise et sortir des trous pour faire revenir la fourche à sa position première. Les circuits 50, 52, 54, des cercles 22, 23, comprennent aussi la pile 51, l'enroulement primaire du radiateur 49 et un électro 53.

Une des sphères de l'oscillateur est mise à la

terre par le fil 102 ; l'autre sphère est connectée par 103, 101 à l'une des électrodes du cohéreur 55, l'autre électrode de ce dernier étant mise à la terre par 100. D'autre part, le cohéreur est connecté à un double relais 12 par le circuit 60, 61, comprenant une pile 62. Le relais 12 est relié par le circuit 63 à un électro polarisé 59 sur l'armature duquel est fixé le cohéreur ; de cette façon, l'effet combiné du mouvement de cette armature à chaque excitation de 59 et l'effort des deux ressorts 57 tendant à ramener le cohéreur à sa position primitive, provoque les secousses de dépolarisation de son contenu. Des conducteurs 65 relient également 12 au cercle 25 et par la pile 13, à la plaque 6 du clavier, ensuite par 11 au cercle 24.

La pression de l'une des touches 2, 3, 4, etc., en faisant exécuter à la fourche 16 le mouvement décrit plus haut, ferme le circuit du radiateur et de l'électro 53. Ce dernier actionne aussitôt un commutateur 105, pivoté en 106, qui fait contact en 109 afin de mettre la tige 99 du poste transmetteur dans le circuit de l'oscillateur par 104, 105 et le fil 103. Quand 105 occupe la position indiquée sur la figure et qui est celle de la réception, 99 est relié par 104, 105, 101 à l'une des électrodes du cohéreur. Dès que, par la pression d'une touche au poste transmetteur, les contacts 7 quittent leurs plots en 6, le circuit 65, etc., se trouve rompu et ce poste est isolé pour la réception. Toutefois, on peut au besoin transmettre et recevoir simultanément en plaçant 6 en circuit continu par une plaque 8 disposée au-dessus du clavier mais il y a lieu, dans ce cas, de protéger le cohéreur de l'oscillateur en enfermant le premier, avec son relais et les circuits 60, 61, 63, dans une cage en verre mise à la terre.

Le clavier de manipulation possède une touche spéciale 5 qui sert à provoquer le démarrage ou l'arrêt simultané des disques 21 dans deux ou plusieurs postes. Le jeu de cette touche est le même que celui des autres, sauf qu'au lieu d'exciter l'électro de commande du clavier de la machine à écrire, elle ferme le circuit d'un autre électro qui a pour fonction de mettre en mouvement une roue à rochet accolée à un petit disque dentelé 66 (fig. 2). Chaque déplacement de disque amène dans le chemin de la tige d'arrêt 75 de 21 soit une encoche qui lui livre passage, soit une dent contre laquelle elle vient buter et stopper par suite la rotation de 21. Le choc de la butée est amorti par un bouton à ressort fixé à l'extrémité de la tige 75. Le disque 66 est maintenu fixé dans chacune des positions qu'il doit occuper par un ressort terminé d'un bouton qui tombe dans des trous ménagés à la surface du disque.

Le cohéreur est mis en action suivant les mouvements de mise en marche ou d'arrêt imprimés au disque 21 et ce, par le jeu d'un interrupteur 110, pivoté en 111, et relié au contact 108, de 105. La pression de la touche 5, met en jeu une série de leviers articulés et par suite l'interrupteur 110 pour l'amener à fermer le circuit entre les contacts 108, 109.

Le dispositif de la fig. 3 permet de communi-

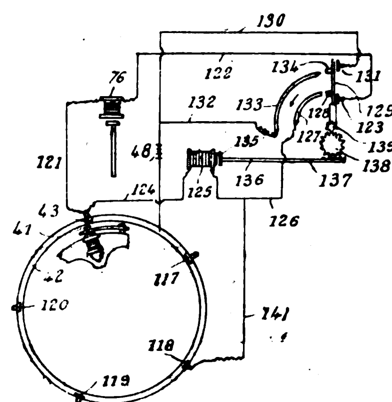


Fig. 3

quer avec un seul poste même alors qu'il y en a plusieurs sur le même réseau. On voit en plan une fraction du disque 21 avec son électro 32. Le contact du circuit de mise en marche est indiqué en 43 ; ce circuit comprend le conducteur 121, l'électro 16, du rochet 66, 122, les plots 123, 131 qui, normalement sont en contact avec le levier mobile 129, 130, la pile 48 et le cercle 42. Quand quatre postes sont reliés ensemble, chacun d'eux a son contact spécial indiqué par 117, 118, 119, 120 ; celui 118, par exemple, sert à isoler le poste représenté par la fig. 2 ; les autres 117, 119 et 120 sont affectés à l'isolement de chacun des trois autres postes. Le contact 43 est relié par 124 à l'électro 125 et ensuite par 126 à un segment 127 formant contact. Un autre segment semblable 133 est intercalé dans un circuit comprenant 132, 130, la pile 48, et le cercle 42 ; les balais 128, 134 du levier 129 établissent le contact en 127, 133 quand ce dernier est tourné sur la gauche ; un mouvement

d'horlogerie règle les mouvements du levier de façon à ce que son retour sur la droite soit assez lent, 30 secondes, par exemple, l'énergie nécessaire à son déplacement étant fournie par l'électro 125 par l'intermédiaire d'une crémaillère et des engrenages 138, 139. Le contact 118 peut être fermé à l'aide d'une touche spéciale dans un quelconque des trois autres postes.

La communication étant établie avec les 4 postes, quand on appuie sur la touche d'appel 5, tous les disques 21 sont mis en mouvement. Pour couper les postes dont on veut s'isoler, on presse la ou les touches correspondantes de ces derniers et le contact s'établit en 118 pour fermer un circuit par 118, 141, 125, 124, 43, 121, 76, 122, 129, 131, 130, 48, 42, duquel l'électro 76 actionne la roue 66 pour amener une de ses projections dans le chemin de 75 pour arrêter le disque 21 des postes exclus. Le jeu de l'électro 125 du même circuit provoque le déplacement du levier 129 sur la gauche où il établit le contact en 127, 133 après avoir détruit celui 123, 131. Par suite, un autre circuit se trouve complété en 48, 132, 133, 129, 126, 125, 124, 43, 42 et est maintenu fermé par les impulsions qui se succèdent. Dans les postes exclus, les disques 21 restent au repos et chaque impulsion maintient l'armature 135 attirée, isolant l'électro 76. Cette condition subsiste tant que le délai entre deux impulsions n'est pas supérieur à 30 secondes; s'il est dépassé, le levier 129 revient à sa position primitive et replace 76 dans le circuit. L. D.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

***Le diagramme du cercle pour la marche au delà du synchronisme.* — O. Benischke. —** Eletrotechnische Zeitschrift, 25 août.

Dernièrement, Mr. Müller a montré que le diagramme ordinaire du cercle, tel qu'il est employé pour la marche au-dessous du synchronisme des moteurs d'induction, n'est plus valable pour la marche hypersynchrone (1). Nous allons montrer que la raison en est purement et simplement que la ligne de glissement a été mal interprétée pour la partie hypersynchrone du diagramme, mais que, avec une interprétation rigoureuse, le diagramme est rigoureux.

La fig. 1 représente le diagramme complet : xy est le glissement s pour le point de charge A dans le fonctionnement au-dessous du synchronisme.

La position et l'échelle de la ligne de glissement XA_k s'obtiennent de la façon suivante :

Soient D le couple.

a_1 la vitesse angulaire du champ tournant.

a_2 la vitesse angulaire du rotor.

En faisant abstraction des pertes dans le cuivre du stator et des pertes dans le fer, la puissance électrique absorbée par le moteur est :

$$P_1 = a_1 D \qquad (1)$$

(1) Ecl. Electr., 7 mai 1904.

et la puissance mécanique restituée est :

$$P_2 = a_2 D \qquad (2)$$

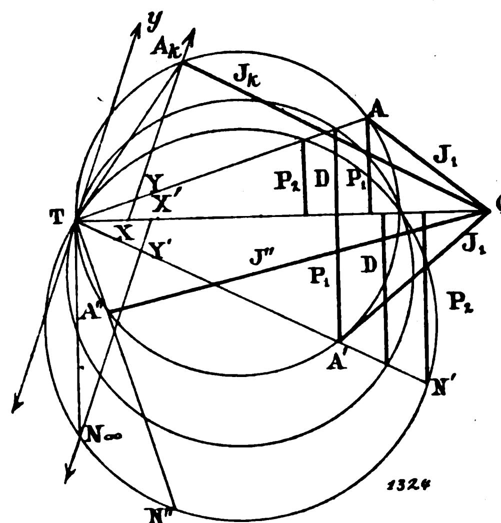


Fig. 1

Le glissement, d'après la définition usuelle, est :

$$s = \frac{a_1 - a_2}{a_1} \qquad (3)$$

Des équations (2) et (3), on tire :

$$P_2 = a_1 (1 - s) D \qquad (4)$$

Les pertes Joule dans le circuit du rotor sont :

$$V = P_1 - P_2 = (a_1 - a_2) D = sa_1 D \quad (5)$$

$$V = sP_1 \quad (6)$$

De l'équation (5), on tire pour le couple :

$$D = \frac{V}{sa_1} \quad (7)$$

Si le glissement

$$s = 1$$

On a :

$$V = P_1$$

et

$$P_2 = 0$$

C'est-à-dire que, pour un glissement $s = 1$ toute la puissance absorbée par le moteur est transformée en chaleur, et la puissance mécanique restituée P_2 est nulle.

Pour :

$$s = \infty$$

il vient d'après l'équation 7 :

$$D = 0$$

Les 3 dernières équations permettent de déterminer la position et l'échelle de la ligne de glissement XA_k. Sa position doit être telle que, pour un simple nul, son point d'intersection avec le vecteur TA soit à l'infini. Mais le couple pour le courant secondaire considéré, n'est nul que quand le vecteur TA est venu en Ty où il est tangent au cercle du couple. La ligne de glissement doit alors être parallèle à cette tangente. La tangente TA_k au cercle de la puissance mécanique donne le point de charge A_k pour lequel la puissance

$$P_2 = 0$$

et le glissement

$$S = 1$$

on obtient donc l'unité de l'échelle du glissement en menant à Ty une parallèle passant par le point A_k.

Les mêmes considérations ont été appliquées jusqu'à présent aussi au fonctionnement hypersynchrone, c'est-à-dire à la partie du diagramme située au-dessous du diamètre T0. Pour le fonctionnement au delà du synchronisme, on a

$$a_2 > a_1$$

c'est-à-dire

$$s < 0$$

on a admis jusqu'à présent que la ligne XN_∞ a la même signification dans la direction négative que la ligne XA_k dans la direction positive, c'est-à-dire que

$$XN_\infty = -1$$

et représente l'unité du glissement pour le fonctionnement hypersynchrone. Comme la perpendiculaire élevée de N_∞ est tangente au cercle de la puissance électrique, on devrait avoir pour ce point :

$$P_1 = 0$$

mais comme le montre l'équation (1), ce n'est pas le cas, puisque ni a_1 ni D ne sont nuls. a_1 ne peut pas être nul puisque il représente la vitesse angulaire constante du champ tournant, et D n'est pas nul parce que le vecteur TN_∞ coupe le cercle du couple à une certaine distance de T. Cette contradiction repose sur l'hypothèse fausse que la ligne XN_∞, par analogie avec la partie supérieure du diagramme, correspond au glissement s défini par l'équation 3.

On arrive aux résultats rigoureux en introduisant, pour le fonctionnement au delà du synchronisme, un autre glissement.

$$\sigma = \frac{a_2 - a_1}{a_2} \quad (8)$$

qui se distingue du glissement s en ce qu'il représente le rapport de la vitesse relative à la vitesse du rotor et est positif, puisque pour le fonctionnement au delà du synchronisme, on a

$$a_2 > a_1.$$

Introduisons σ dans l'équation (1) : la puissance électrique fournie par la machine dans le fonctionnement hypersynchrone est

$$P_1 = a_1 D = a_2(1 - \sigma) D. \quad (9)$$

Pour la puissance mécanique, absorbée maintenant par la machine, on a, comme dans l'équation (2)

$$P_2 = a_2 D \quad (10)$$

Pour les pertes par effet Joule dans le circuit du rotor, on trouve après introduction de σ

$$V = P_1 - P_2 = (a_1 - a_2)D = -\sigma a_2 D \quad (11)$$

$$V = -\sigma P_2 \quad (12)$$

Les pertes paraissent négatives, parce que dans ce cas $P_2 > P_1$.

Les équations 9 et 12 pour la marche au delà du synchronisme présentent une analogie rigoureuse avec les équations 4 et 6 par le fonctionnement du moteur.

****

En effet si :

$$\sigma = 1$$

on a :

$$V = - P_2$$

et

$$P_1 = 0$$

c'est-à-dire que pour le glissement

$$\sigma = 1$$

toute la puissance mécanique P_2 absorbée par la machine est transformée en chaleur, et la puissance électrique fournie P_1 est nulle. Par suite, la ligne $X'N_\infty$ représente le glissement σ et est égale à l'unité car, pour ce point, P_1 est nul puisque la perpendiculaire au diamètre T0 est tangente au cercle de la puissance électrique P_1.

De l'équation de définition (8), il résulte que σ est égal à l'unité quand

$$a_2 = \infty.$$

L'équation de définition (3) montre que dans ce cas

$$s = - \infty.$$

Le point $N\infty$ ne correspond donc pas au glissement

$$s = - 1$$

mais à

$$s = - \infty$$

ou

$$\sigma = + 1.$$

On voit également qu'il est inexact d'admettre qu'il existe au delà du point $N\infty$ un état de fonctionnement pour lequel la machine emprunte en même temps de l'énergie mécanique et de l'énergie électrique pour les transformer toutes deux en chaleur. Un tel état existe seulement pour le fonctionnement au-dessous du synchronisme, entre

$$s = 1$$

et

$$s = + \infty$$

c'est-à-dire quand le rotor est mis en mouvement en sens inverse du champ tournant. Pour la marche hypersynchrone cela n'a aucun sens de parler d'un fonctionnement au delà de $N\infty$, car $N\infty$ n'est atteint que lorsque la vitesse a_2 du rotor est infiniment grande. Il ne peut pas y avoir de couple positif au delà du synchronisme, comme on l'a dit quelquefois. L'erreur provient de ce que, par analogie avec le fonctionnement en moteur, on a admis que la ligne $X'N\infty$ correspondait au glissement s.

La relation entre σ et s peut être tirée des équations de définition (3) et (8).

De la dernière on tire :

$$a_2 - a_1 = a_2 \sigma$$

De l'équation (3) on tire :

$$s = \frac{-(a_2 - a_1)}{a_1} = \frac{-a_2 \sigma}{a_1} = (s - 1)\,\sigma$$

Il vient donc

$$\sigma = \frac{s}{s-1} \qquad (13)$$

ou

$$s = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \qquad (14).$$

Pour une fréquence constante du réseau, c'est-à-dire pour une vitesse angulaire a_1 constante, on trouve pour la marche hypersynchrone les valeurs suivantes pour le synchronisme simple et le double synchronisme :

Vitesse du rotor a_2	s	σ	P_1	P_2	V	Correspond dans le diagramme au point
$a_2 = a_1$	0	0	0	0	0	S
$a_2 = 2a_1$	-1	$\frac{1}{2}$	$\frac{a_2}{2}D$	$a_2 D$	$\frac{a_2}{2}D$	N'

A la vitesse du rotor pour le double synchronisme

$$a_2 = 2a_1 \quad , \quad (s = - 1)$$

ne correspond donc pas le point $N\infty$, mais le point N″, obtenu en menant le vecteur TN″ par le milieu de la ligne de glissement $X'N\infty$, parce que dans ce cas, d'après le tableau précédent, $\sigma = \frac{1}{2}$. On en déduit que, pour ce point ($s = -1$), le courant J″ est plus grand que pour le point de court-circuit A_k ($s = +1$) dans le fonctionnement au-dessous du synchronisme, ce qu'avait déjà reconnu M. Muller. Par contre, son affirmation que, pour la marche au delà du synchronisme, le décalage peut changer de signe par rapport à la différence de potentiel aux bornes, repose sur une erreur. Nous arrivons alors au résultat que, dans la partie hypersynchrone du diagramme du cercle, ce n'est pas le glissement s mais le glissement σ défini par l'équation (8) que représente la ligne $X'N\infty$. Si malgré tout on veut représenter les grandeurs P_1 P_2 et D en fonction de s, pour pouvoir employer le même système de coordonnées que dans la marche normale, il faut,

d'après l'équation (4), diviser chaque valeur mesurée

$$\sigma = X'Y'$$

par la valeur

$$X'Y' - 1$$

Le glissement s ne peut, dans la partie hypersynchrone, être représenté par aucune ligne droite. Inversement, pour la marche au-dessous du synchronisme, le glissement σ ne peut être représenté par aucune droite.

O. A.

Eléments primaires et accumulateurs. — Centralblatt fur accumulatoren 1er Août. Elément primaire **Jay Noble** et **Edward Anderson** patte américaine 739-740 1er Juin 1903.

L'énergie électrique est produite par oxydation du charbon. Comme seconde électrode on emploie l'aluminium ou une autre matière inattaquable à l'acide. Ce dernier est de l'acide nitrique étendu (1:1). Les gaz se condensent dans le charbon ou le coke et retournent dans l'élément. Le récipient 1 (fig. 1) contient les charbons 2 munis d'une queue de connexion 3 et la plaque d'aluminium 4 portant un prolongement 5. Pour qu'on n'ait pas besoin d'une

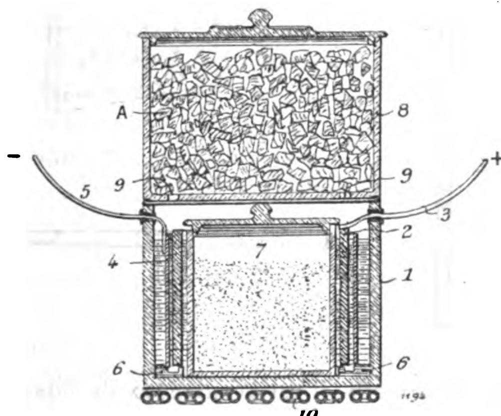


Fig. 1

trop grande quantité d'électrolyte, et que la surface d'électrodes soumise à son action soit quand même considérable, on introduit dans l'élément un dispositif de remplissage 7, par exemple un récipient plein de sable. Sur l'élément on place un condenseur à fond perforé rempli de coke ou d'autre matière analogue maintenue continuellement humide. L'intérieur de l'élément est porté à une température de 65° environ, par un serpentin à vapeur 10, par exemple, de façon que la « *réduction cathodique* » du charbon puisse avoir lieu.

Lorsque le circuit est fermé, il se forme de l'oxygène sur l'aluminium et de l'hydrogène sur le charbon. Ce dernier est transformé en eau par l'acide nitrique et produit de l'acide hypo-azotique qui, à 65°, oxyde le charbon et forme de l'acide carbonique et du bioxyde d'azote. Celui-ci s'unit à l'oxygène pour reformer de l'acide hypo-azotique, qui, avec l'eau du condenseur, reproduit l'acide azotique; ce dernier coule dans l'élément. On peut également produire l'acide hypo-azotique en dehors de l'élément et s'en servir avec un électrolyte approprié. L'élément a une force électromotrice de 1 volt 5, une résistance intérieure très faible, et produit un courant constant à peu de frais.

Méthode pour fabriquer des plaques d'accumulateurs avec des canaux traversant la matière active. — **Pflüger** Accumulatoren Werke.

On porte les plaques en plomb, en alliage de plomb ou autre, à une température supérieure au point de fusion du métal de manière que ce dernier fonde et qu'il ne reste plus qu'une pellicule métallique ou peau adhérente à la matière active : il se produit ainsi à travers cette dernière des canaux permettant une bonne circulation de l'électrolyte. On a déjà empâté avec la matière active des supports creux, et d'autre part on a déjà incorporé dans cette dernière un métal facilement fusible finement divisé de façon à donner à la plaque, après fusion, la porosité nécessaire; la méthode actuelle est différente et consiste à faire fondre la grille servant primitivement de support jusqu'à ce qu'elle soit réduite à une peau métallique adhérente à la matière en laissant des espaces creux en forme de canaux. La fig. 2 représente la plaque avant fusion. Les fig. 3 et 4 sont des coupes suivant les lignes AB et CD avant fusion et les fig. 5 et 6 les coupes suivant les lignes AB et CD après fusion.

La fabrication de la plaque est faite de la façon suivante : la grille, constituée par des barrettes longitudinales et transversales a b est empâtée comme d'habitude et séchée. Ensuite la plaque est soumise à une température (400 à 500°) supérieure au point de fusion du métal dont elle est constituée. Au bout de peu de temps, le métal fond et il ne reste qu'une peau adhérente à la matière active : les barrettes a b font alors place

aux cavités *c d* tandis que la matière active reste intacte.

Les plaques ainsi préparées peuvent être em-

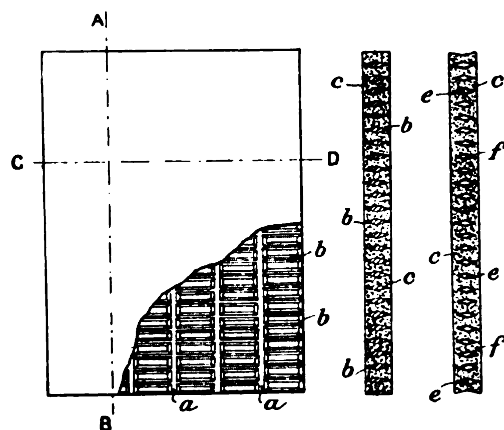


Fig. 2 à 6

ployées d'une façon quelconque ; par exemple on peut les entourer d'une feuille de plomb perforé ou les placer dans un support approprié. Elles sont extrêmement légères et ont une grande capacité grâce au libre accès de l'électrolyte.

Accumulateur-Porter. — Pat^e amer^e 763 321. — novembre 1901.

Le contact entre la matière active et le support des

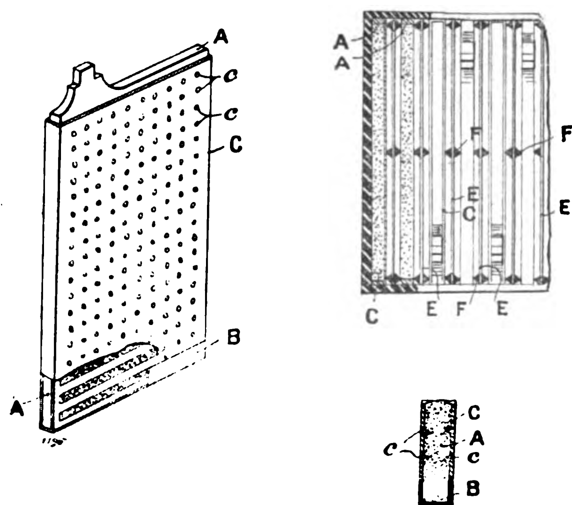


Fig. 7 et 8

plaques positives doit être parfaitement assuré malgré les contractions et le foisonnement de la matière, sans quoi, la durée et la capacité de la plaque sont faibles.

Le support A (fig. 7) est muni de nervures ou côtes en forme de W (fig. 8). L'extrémité inférieure est maintenue par un sabot ou une auge B en matière inattaquable, par exemple en ébonite. Sur ce dernier est placée une enveloppe perforée C en plomb dur étroitement pressée contre la plaque et portant des saillies inférieures qui pénètrent dans la pâte positive. Dans l'élément, les plaques sont séparées par des feuilles isolantes perforées E munies de côtes F.

Plaque d'accumulateur-Porter. — Pat^e amer^e 763 322. — 1902.

On fond un récipient A (fig. 9 et 10) formant des pochettes C et muni d'une queue de connexion A

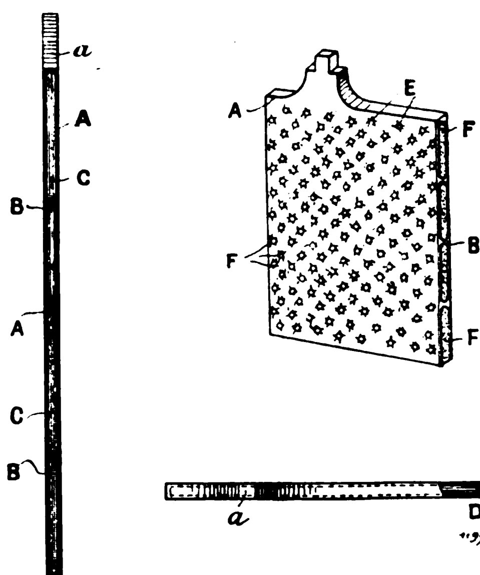


Fig. 9 à 11

et de nervures B. Il est avantageux de laisser un côté de ce récipient ouvert et d'y ménager une fente D d'environ 3^{mm} de largeur (fig. 11). Les pochettes sont remplies de pâte F, puis la fente D est fermée par une lame de plomb soudé. Ensuite, le récipient A est placé sur une poinçonneuse qui perce des trous E de telle façon que les bavures de métal pénètrent dans la matière active : cette dernière peut aussi être placée dans les pochettes sous forme de tablettes.

R. V.

Sur l'allure du courant de fusion des coupe-circuits fusibles, étudiée au moyen d'oscillographes. **Delschlager** Electrotechnische Zeitschrift, 1er septembre.

Un des appareils les plus simples que l'on emploie journellement en électrotechnique est certainement le fusible. Malgré sa simplicité, on ne sait que fort peu de choses sur les phénomènes qu'il présente au moment de la fusion. Les questions : combien s'écoule-t-il de temps avant qu'un fusible coupe le circuit, lorsqu'il y passe un courant double, triple ou décuple du courant normal, ou bien : comment se comporte un fusible lors d'un court-circuit ; quelle intensité atteint le courant, avant que le fusible ait fondu, restent la plupart du temps sans réponse. La première question peut recevoir souvent une réponse lorsqu'il s'agit de fusibles pour fortes intensités et d'une surcharge pas trop considérable. Dans ce cas, la durée de fusion peut être observée directement avec une montre. Mais cette méthode est absolument inapplicable lorsqu'il s'agit de fusibles pour faibles intensités dont l'emploi est le plus général. En effet dans ces derniers, dans lesquels il y a très peu de matière, les durées de fusion sont si courtes qu'une observation directe n'est plus possible.

Il faut alors avoir recours à un appareil enregistreur capable d'inscrire, non seulement le temps que dure le phénomène, mais aussi la courbe d'élévation et de chute du courant. Pour ces expériences, il faut naturellement employer des appareils à miroir dont la durée d'oscillation est très faible. Un tel instrument est un oscillographe.

Les essais qui suivent ont été faits avec un nouvel oscillographe Siemens et Halske construit sur le principe de ceux de Blondel. Pour la mesure du courant, le fil est en dérivation sur une faible résistance non inductive. La courbe est enregistrée sur un papier sensible, enroulée sur un tambour qui tourne avec une vitesse de 1500 tours par minute. Si cette vitesse est constante, on a sur la périphérie du tambour une échelle pour les abscisses des courbes. Dans le cas présent, une bande de papier de 200 mm. de longueur correspondait à un tour du tambour (1/25 seconde). Il en résulte que le $\frac{1}{1000}$ de seconde est représenté sur le papier par une longueur de 5 mm.

Dans les expériences décrites, on a employé les coupe-circuits Siemens de 20 ampères qui peuvent supporter en régime normal au plus 25 ampères, et fondent en moins de 2 minutes lorsque le courant atteint 40 ampères. Le courant était pris aux bornes du réseau de distribution de lumière et force motrice de 2×110 volts.

Au début, pour étudier l'allure du courant de fusion en cas de court-circuit, on a dû intercaler dans le circuit une résistance et une bobine de self-induction, pour limiter le maximum et la vitesse de croissance du courant. Le premier essai fut fait avec une résistance de 0,60 ohm et une self-induction de 2,5 Henry : le courant maximum qui pouvait prendre naissance était 180 volts. La courbe *a* de la figure 1 représente l'allure du courant : le fusible fond au bout de 0,12 seconde. La résistance et la self-induction furent diminuées peu à peu, et les résultats sont représentés par les courbes successives qui sont toutes à la même échelle. Dans les courbes *b* et *c*, la montée ne suit pas la loi logarithmique ; la cause en est que la bobine de self-induction était fortement saturée à 180 ampères et que, par suite, il y avait une self-induction beaucoup plus forte dans la partie inférieure de la courbe que dans la partie supérieure. Pour la même raison, la valeur de constante de temps déduite de la courbe *a* et égale à 0,03 seconde ne concorde pas avec la valeur calculée.

Dans les courbes suivantes, cette différence ne se produit plus, car la saturation de la bobine de self-induction est beaucoup plus faible. Malgré cela, les courbes n'ont pas une allure logarithmique par suite de la variation de la résistance *w* due au changement de température : c'est d'autant plus sensible que la résistance intercalée est plus faible vis-à-vis de la résistance du coupe-circuit. La courbe *c* présente un point particulier, dû évidemment à un mauvais contact dans l'interrupteur. A partir de la courbe *g*, il n'y a plus de self-induction intercalée ; la courbe *h* correspond encore à une résistance de 0,10 ohm. qui est supprimée dans la courbe *i* ; c'est le cas du court-circuit franc sur 110 volts. Comme on le voit, l'intensité du courant croît avec une extraordinaire rapidité ; déjà après 0,005 seconde elle est montée à 850 ampères. Au bout de 0,0052 seconde le courant commence à diminuer et est tombé à zéro après 0,00535 seconde. La pointe de 850 ampères se produit donc dans le temps extraordinairement court de 0,00015 seconde.

La résistance d'un tel coupe-circuit est 0,0054

ohm à froid ; le fil fusible est en argent dont le point de fusion est 1000° en chiffres ronds. La résistance du fil fusible chaud mesurée pour une lente augmentation de courant est, peu avant la fusion, 0,017 ohm.

Dans un court-circuit de 110 volts, il pourrait se produire, si l'on fait abstraction des résistances des canalisations, une intensité maxima de

$$\text{courant } \frac{110}{0{,}017} = 6\,500 \text{ ampères.}$$

Le courant n'atteint que la valeur de 850 ampères parce qu'il ne croît pas subitement à cause de la self-induction naturelle du circuit et parce qu'il est coupé bien avant d'avoir pu atteindre son régime. Pour déterminer si la self-induction de la source de courant (machines) avait une influence, la même expérience a été faite dans des conditions exactement identiques avec une batterie d'accumulateurs de 110 volts : aucune différence n'a été constatée dans l'allure de la courbe de courant.

On a observé également avec l'aide de l'oscil-

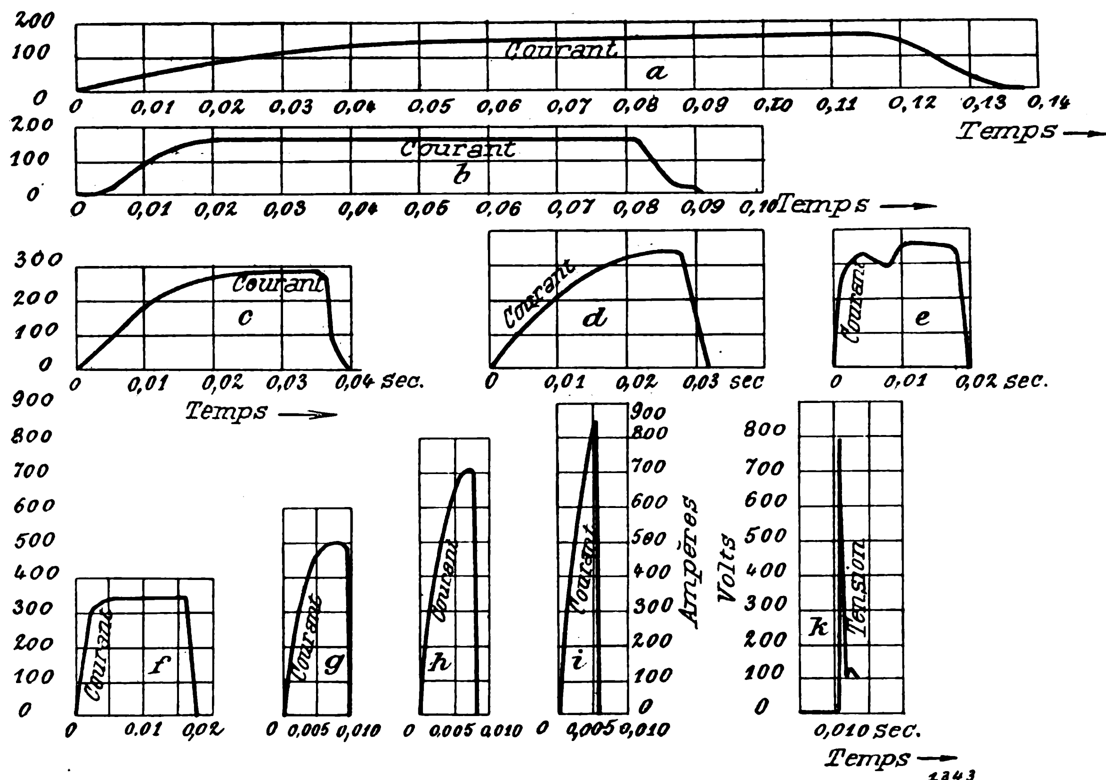


Fig. 1

lographe l'allure de la différence de potentiel entre les bornes du coupe-circuit lors d'un court-circuit franc (courbe *k*). Comme on le voit, la différence de potentiel est presque nulle au début ; peu avant la fusion du fil elle s'élève rapidement à environ 25 volts ; et au moment de la fusion, il se produit un phénomène surprenant : la différence de potentiel atteint tout-à-coup une valeur bien supérieure à la tension d'alimentation du réseau, retombe rapidement et, après une oscillation de faible amplitude elle prend la valeur constante de 110 volts. L'essai renouvelé plusieurs fois, soit avec la machine, soit avec la batterie d'accumulateurs, a toujours donné le même résultat.

La colossale surtension qui prend naissance à la rupture d'une aussi faible self-induction (ordre de grandeur 10^{-4} Henry) est tout à fait surprenante ; on peut se l'expliquer en songeant au temps extrêmement court (0,00015 seconde) que dure la rupture d'un courant de 850 ampères. D'après le calcul on devrait s'attendre à une différence de potentiel d'environ 570 volts.

En rassemblant les résultats des différents essais, on obtient une courbe intéressante (fig. 2) en portant en abscisses les durées de fusion obser-

vées et en ordonnées les intensités de courant maxima atteintes. Cette courbe montre que le coupe-circuit fond pour un courant décuple du courant normal, soit 200 ampères, au bout de 0,070 seconde ; pour un courant vingt fois plus fort, soit 400 ampères, au bout de 0,016 seconde ; et pour un courant 50 fois plus fort au bout de 0,004 seconde. Il est à remarquer que cette courbe n'est pas absolument rigoureuse mais dépend encore de la self-induction des conducteurs d'amenée du courant.

On peut tirer quelques conclusions des résul-

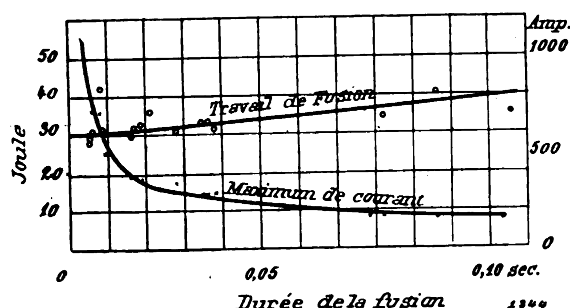


Fig. 2

tats trouvés. La chaleur nécessaire pour la fusion du fil est donnée par

$$A = \int i^2 w \, dt$$

La résistance w n'est pas exactement connue en fonction du temps. On ne connaît que la résistance du fil froid et la résistance au moment de la fusion à 1000°. Pour calculer la résistance au moment où le fil passe de l'état solide à l'état liquide, les constantes physiques font totalement défaut.

On ne possède aucune relation permettant de calculer, pour chaque valeur du courant, la résistance correspondante : l'intégration ne peut donc pas être faite d'une façon exacte. Il faut se contenter d'une approximation et prendre pour w une valeur moyenne w_m.

$$A = w_m \int i^2 \, dt$$

En intégrant la courbe, on obtient $\int i^2 \, d\, t$ pour chaque expérience. Si, pour avoir au moins l'ordre de grandeur, on prend pour w la valeur 0,017 ohm, résistance du fil chaud, la courbe du travail de fusion, rapportée à la durée de fusion (fig. 31) est à peu près droite, dans les limites de nos expériences. La valeur limite pour des temps infiniment petits est 30 Joules, et la valeur maxima observée 40 Joules. Cet accroissement est facilement explicable parce que, plus la durée de fusion augmente, plus il y faut de chaleur pour élever la température de l'espace qui environne le fil. Pour les durées de fusion extrêmement courtes observées dans le cas du court-circuit franc, on peut supposer que la chaleur perdue dans l'espace environnant est nulle.

Le travail de la fusion peut aussi être calculé directement d'après les dimensions du fil fusible : de celles-ci et des constantes connues on tire :

nécessaires pour échauffer le fil :	5,80	gr. calories
nécessaires pour la fusion du fil chaud	1,75	—
	7,55	—
ou	31,5	Joules.

Ce chiffre est de l'ordre de grandeur trouvé par le calcul de

$$A = w_m \int i^2 \, dt$$

Après avoir terminé cette étude, nous avons pensé que les résultats pouvaient avoir été faussés par la présence de la ligne de jonction entre la source de courant et le point d'utilisation, constituée par des câbles de 200 mètres et de 1000 mm² de section.

La résistance de cette ligne (0,003 ohm) est presque négligeable vis-à-vis de la résistance du fusible, mais la self-induction n'est pas négligeable. Pour cette raison, nous avons fait quelques expériences de courts-circuits sur la batterie d'accumulateurs. Le résultat a été surprenant. L'intensité du courant s'est élevée en 0,0002 seconde à 5000 ampères, est tombée rapidement en faisant une pointe négative de 3000 ampères, et s'est annulée après un nouveau maximum positif. Le courant atteint donc presque la valeur maxima permise par la résistance du fil chaud : il est 250 fois plus grand que le courant normal.

La pointe de la différence de potentiel aux bornes du fusible a été de 420 volts. Directement aux bornes des accumulateurs, il y a eu une élévation de tension ; la différence de potentiel a atteint 350 volts. Cela prouve qu'une batterie d'accumulateurs n'est pas absolument dépourvue de self-induction.

B. L.

Le calcul de la puissance des moteurs dans une exploitation de traction. **MULLER.** Zeitschrift fur Electrotechnik, 24 Juillet.

Si l'on envisage le problème purement mécanique de la propulsion d'une voiture sur une voie quelconque, la puissance de moteur nécessaire se déduit très simplement de l'effort de traction et de la vitesse, et peut être exprimée en chevaux-vapeur. Un calcul de ce genre, presque exclusivement employé jusqu'ici ne serait exact, dans le cas du moteur électrique, que si la puissance de ce dernier était limitée par des considérations mécaniques. Or, tout le monde sait que ce n'est pas le cas et que les essais de machines électriques portent non pas sur leur solidité mais sur leur échauffement. C'est le seul point envisagé dans le calcul de la puissance des moteurs de tractions, et la puissance en chevaux indiqués est celle pour laquelle au bout d'une heure de fonctionnement, aucune partie ne dépasse une température déterminée. Evidemment, en se basant sur l'échauffement au bout d'une heure pour les diverses exploitations de traction, on est conduit à des puissances inexactes.

Une voiture de 10 tonnes par exemple, devant effectuer 14,5 kilomètres à l'heure exigerait une puissance de 5 chevaux 1/2, tandis qu'en réalité on l'équipe avec deux moteurs de 25 chevaux, soit 50 chevaux au total. On a donc adopté environ le décuple de ce qu'indique le calcul et on ignore si des moteurs plus petits, plus légers et plus économiques ne suffiraient pas tout aussi bien : il est donc intéressant de refaire tout le calcul sur une autre base en tenant compte de l'échauffement du moteur.

En rassemblant les lois qui déterminent l'échauffement du moteur, on arrive à une relation logarithmique. Si l'on essaie avec l'aide de cette relation, de calculer le courant correspondant à la charge variable, avec alternatives de travail et d'arrêt, que représente le fonctionnement réel, c'est-à-dire le courant qui provoquerait la même température finale, on arrive à des formules tout à fait inutilisables à moins de simplifications faites aux dépens de l'exactitude.

Les considérations qui suivent permettent de s'affranchir complètement des expressions mathématiques compliquées et de faire d'une façon simple le calcul de la puissance basé sur l'échauffement. On doit admettre comme point de départ que les intensités de courant qui se reproduisent après un voyage complet aller et retour doivent produire un certain état stationnaire du moteur, c'est-à-dire que l'induit et les inducteurs, dont l'échauffement limite la puissance du moteur, prennent après un voyage complet une température finale déterminée. Au lieu de calculer cette température finale et la charge permanente équivalente, admettons que ni l'induit ni les inducteurs ne doivent être le siège d'une surélévation de température dépassant 75°. Supposons qu'après expériences, on connaisse quelles quantités de chaleur le moteur peut dissiper dans l'air ambiant par suite de cet excès de température ; il suffit alors d'écrire que, pendant un voyage complet aller et retour, les quantités de chaleur produites ne sont pas supérieures aux quantités de chaleur dissipées.

La quantité de chaleur produite est $\Sigma i^2 t$. La quantité de chaleur dissipée est proportionnelle à la durée T d'un voyage complet. Par suite, un courant déduit de la valeur de $\frac{i^2 t}{T}$ et passant d'une façon permanente pendant le temps T produit autant de chaleur qu'il s'en dissipe. La question serait ainsi résolue d'une façon très simple. On trouve un courant permanent équivalent à toutes les charges du fonctionnement réel au point de vue de l'échauffement. Mais, par $\Sigma i^2 t$, nous avons tenu compte seulement des pertes ohmiques et pas des pertes dans le fer qui contribuent à échauffer l'induit. Ces dernières compliquent les calculs. On a cherché à trouver une relation entre le rapport des pertes dans l'induit (pertes dans le fer et dans le cuivre) aux pertes dans les inducteurs et la température des bobines induites et inductrices. On ne peut, à notre avis, arriver à aucun résultat dans cette voie parce que l'action des pertes dans le cuivre est tout à fait différente de l'action des pertes dans le fer. Les premières agissent directement pour élever la température du cuivre, tandis que la quantité de chaleur due aux secondes est absorbée en partie dans les isolants et dans l'air environnant. Les pertes dans le fer prennent naissance dans le noyau et les dents de l'armature, mais se répartissent sur un poids de métal beaucoup plus considérable que les pertes dans le cuivre. La température qu'atteignent de ce fait toutes les parties métalliques liées ensemble est toujours sensiblement inférieure à la température du cuivre, parce que outre le poids plus considérable de métal à

échauffer, le poids spécifique est plus élevé et le refroidissement est meilleur grâce aux canaux de ventilation et aux surfaces rayonnantes nues. D'autre part, l'échauffement du noyau de fer produit aussi un échauffement de l'air qui entoure le cuivre, et les parties de fer placées dans le voisinage de ce dernier ne peuvent dissiper que beaucoup moins de chaleur à cause de leur propre échauffement. Le rôle qu'il faut attribuer aux pertes dans le fer est donc une diminution du refroidissement des inducteurs en cuivre. On doit par conséquent, dans la détermination de la puissance permanente, tenir compte aussi des pertes dans le fer et prendre cette puissance d'autant plus élevée que ces dernières sont plus faibles.

Pour obtenir les pertes dans le fer en exploitation normale, il faut multiplier les différentes pertes dans le fer w qui se produisent pendant le démarrage et la pleine vitesse par les temps correspondants t et diviser ces produits par le temps T d'un voyage complet aller et retour (y compris les arrêts). En résumé, on peut dire que les charges variables, alternant avec des intervalles de refroidissement, qui se produisent dans un moteur en exploitation normale, peuvent être remplacées dans le calcul par une charge permanente tirée de l'expression $\Sigma \frac{i^2 t}{T}$ sous une différence de potentiel correspondant aux pertes dans le fer $\frac{\Sigma wt}{T}$ pour cette charge.

Il s'agit seulement de montrer que le calcul de $\Sigma i^2 t$ et Σwt ne présente aucune difficulté comme on pourrait le croire à première vue, et pour cela nous allons choisir l'exemple suivant : supposons qu'un train de 180 tonnes, composé de 2 motrices et 7 remorques, doive parcourir un tronçon de voie horizontal sur lequel les stations sont distantes de 900 à 2.400 mètres, que les arrêts aux points extrêmes soient de 160 secondes chacun et les arrêts intermédiaires de 20 secondes, la longueur totale du tronçon étant 15,55 km.

Il faut calculer la puissance des moteurs en supposant que chaque motrice est équipée avec 4 moteurs, la vitesse moyenne, y compris les arrêts intermédiaires, devant atteindre 25 et 30 kms, et la vitesse maxima 40 kms à l'heure. Soient 3,1 kg. par tonne le coefficient de traction, et 4 °/₀₀ l'inclinaison moyenne de la voie. Sur ces données on peut choisir un moteur dont le couple et la vitesse semblent répondre à peu près aux conditions imposées. En s'appuyant sur les courbes caractéristiques du moteur reproduites dans la fig. 1, on détermine la courbe de démarrage de la fig. 2 où la masse du train a été supposée égale à 18.650 unités pour tenir compte de l'influence des parties tournantes. On a pris comme valeur de l'accélération la valeur maxima correspondant à l'adhérence, soit

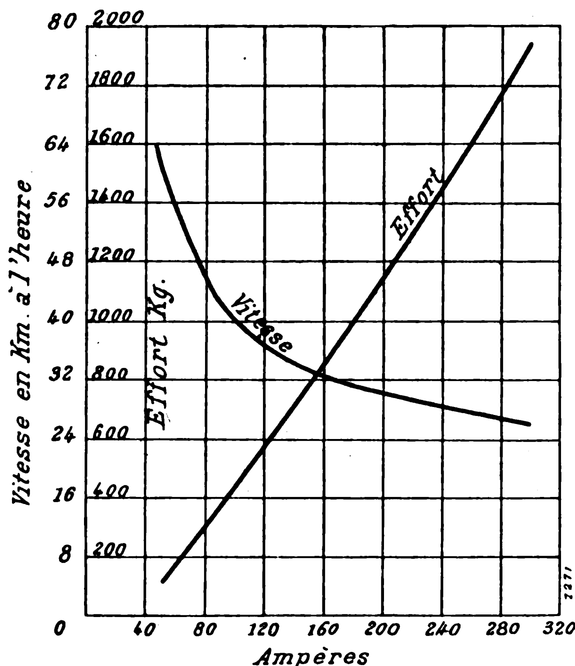


Fig. 1

55 cms par seconde. Supposons de plus que le freinage du train a lieu à la vitesse de 26 kms à l'heure, c'est-à-dire que, aussitôt la vitesse maxima de 40 kms atteinte, le mécanicien coupe le courant et laisse marcher le train jusqu'à ce que la vitesse soit réduite à 26 kms à l'heure ; à ce moment, il freine en imprimant au train une accélération négative de 87 cms par seconde.

Du coefficient de traction de 3,1 kg. par tonne et de la masse de 18.650 unités, ainsi que de la valeur moyenne 4 °/₀₀ de la rampe, nous déduisons l'accélération négative du train lorsqu'on coupe le courant.

18.650 Accélération négative $= (3,1 + 4) \times 180$

d'où : accélération négative $= \frac{7,1 \times 180}{18650} = 6,85$ seconde par seconde $= 0,246$ km. à l'heure par seconde.

Donc le train passe de la vitesse de 40 km. à

l'heure à la vitesse de 26 km. à l'heure en un temps :

$$\frac{14}{0{,}246} = 57 \text{ secondes}$$

et le chemin parcouru est :

$$\frac{40+26}{2\times 26} \cdot 5{,}7 = 520 \text{ mètres}$$

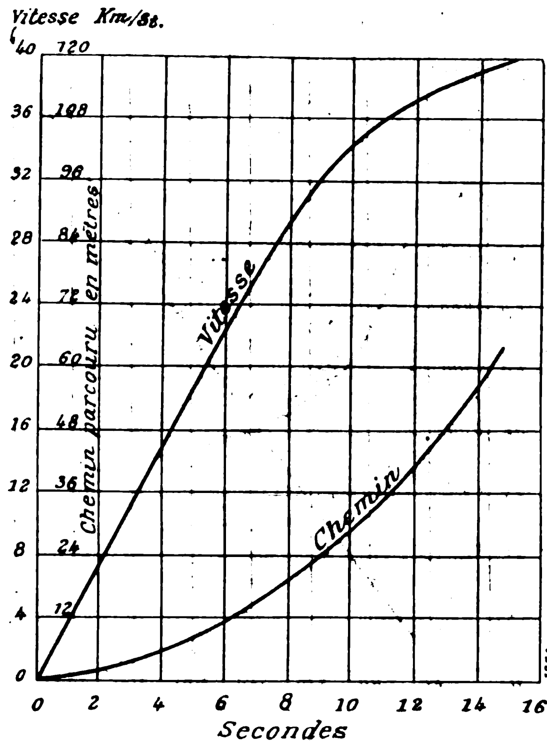


Fig. 2

La durée du freinage est :

$$\frac{26}{3{,}6\times 0{,}87} = 8 \text{ secondes en chiffres ronds}$$

Le chemin parcouru pendant le freinage est :

$$\frac{26}{2\times 3{,}6} \times 8 = 29 \text{ mètres}$$

La courbe 2 du démarrage indique 30 secondes comme temps nécessaire à l'obtention d'une vitesse de 40 km. et 208 mètres comme chemin correspondant. Une pause comportant : un démarrage jusqu'à la vitesse de 40 à l'heure, une marche sans courant et un freinage, dure donc :

$$30 + 57 + 8 = 95 \text{ secondes}$$

et le chemin parcouru est :

$$208 + 520 + 29 = 757 \text{ mètres}$$

Le diagramme tracé en 1 dans la fig. 3 permet de déterminer la courbe des intensités de courant et les pertes dans le fer correspondant aux intensités de courant et à la tension ; en intégrant cette courbe, on obtient les valeurs :

$$\Sigma I^2 t = 109\,254$$

et

$$\Sigma \omega t = 89825$$

On a aussi

$$\Sigma I t = 36944$$

I désignant le courant total absorbé par le train (le courant absorbé par chaque moteur est désigné par i). Si l'on trace les diagrammes aux cas où le mécanicien coupe le courant lorsque le train a atteint seulement la vitesse de 35 kilomètres ou de 29,2 kilomètres, on obtient les diagrammes II et III (fig. 3). Si l'on suppose que le mécanicien coupe le courant lorsque le train atteint la vitesse de 40 km. à l'heure, puis le rétablit lorsque la vitesse est tombée à 29,2 à l'heure, vitesse pour laquelle les moteurs fonctionnent sans résistance

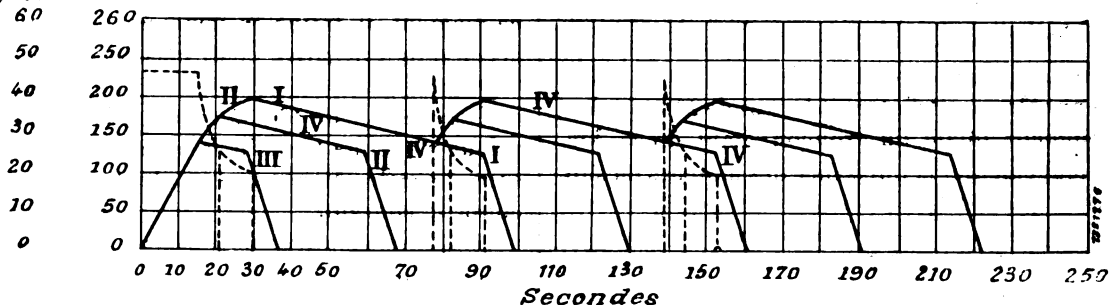


Fig. 3

en série, etc., on obtient le diagramme IV. Les courbes tracées en pointillé indiquent les intensités de courant absorbées à chaque fermeture du circuit : elles sont déduites très facilement des

courbes caractéristiques du moteur. Pour chaque diagramme on calcule

$$\Sigma i^2 t \quad \Sigma wt \quad \text{et } \Sigma It$$

La fig. 4 résume les différentes valeurs trouvées en fonction du chemin parcouru, c'est-à-dire de l'écartement entre les stations, et peut servir de base pour le calcul complet. Le tableau suivant donne les valeurs de Σt,

$$\frac{\Sigma wt}{10^3}, \quad \frac{\Sigma It}{10^3}, \quad \frac{\Sigma i^2 t}{10^3},$$

pour les différentes distances entre les stations.

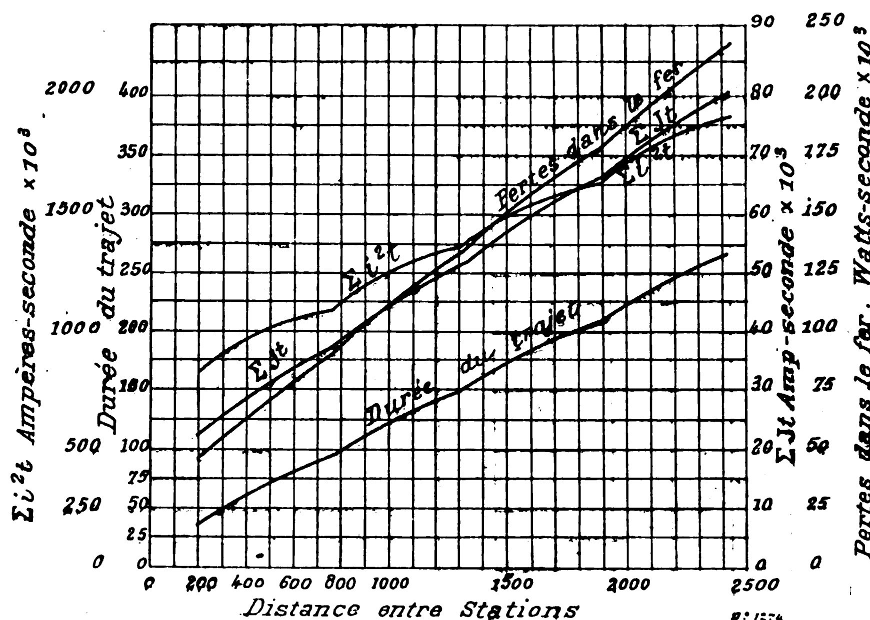


Fig. 4

La durée d'un voyage complet est la suivante :

Trajet aller et retour 2 × 1764	=	3528 secondes
16 arrêts de 20 secondes		320 —
2 arrêts aux terminus		353 —
Total		4200 secondes

Le courant permanent équivalent est

$$\sqrt{\frac{2 \times 14\,296 \times 10^3}{4200}} = \sqrt{\frac{28\,592\,000}{4200}} = 82{,}6 \text{ ampères}$$

Les pertes dans le fer en moyenne

$$\sqrt{\frac{2 \times 1506 \times 10^3}{4208}} \quad \sqrt{\frac{3.012.400}{4200}} = 720 \text{ watts}$$

Distance entre les stations	Σt	$\frac{\Sigma wt}{10^3}$	$\frac{\Sigma It}{10^3}$	$\frac{\Sigma i^2 t}{10^3}$
2300 m.	255 secondes	212,5	77,6	1870
1800	203	173	64,5	1616
1400	162	141	54,2	1430
900	111	102,5	41,2	1190
1150	137	122	47,8	1213
1600	184	157,5	59,5	1540
2100	235	197	72,5	1780
2400	264	220	80	1900
1900	213	180.5	67	1657
15550 mètres	1764 secondes	1506	564,3	14293

Ces pertes en watts correspondent, pour 82,6 ampères, à une différence de potentiel d'environ 220 volts. Dans le cas présent, la charge du moteur correspond à un courant de 82,6 amp., soit une différence de potentiel de 220 volts.

Calculons la consommation en watts heure par

tonne kilomètre. Dans un voyage simple il y a : $180 \times 15{,}55 = 2799$ tonnes kilomètre pour

564400 ampères secondes

soit, pour une différence de potentiel de 550 volts

$$\frac{591300.550}{3600} \text{ watts heure}$$

ou

30,8 watts heure par tonne kilomètre

La fig. 5 indique la puissance permanente du moteur considéré comme base de notre calcul. Que la puissance permanente pour 720 watts de

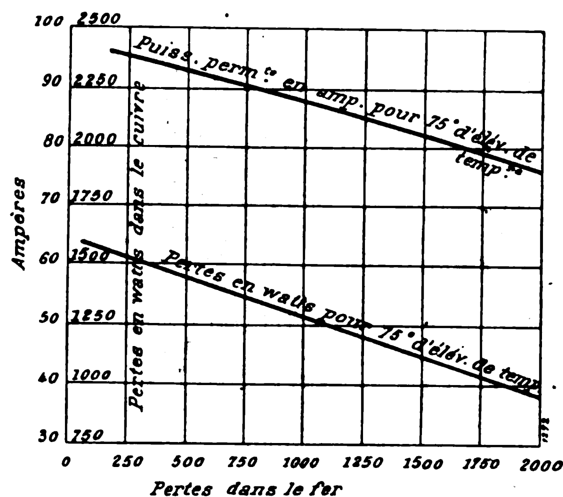


Fig. 5

pertes dans le fer comporte un courant d'environ 90 ampères, l'élévation de température doit atteindre 75° : par conséquent ce moteur trouvé est suffisant pour l'exploitation dont il s'agit.

Il peut être encore intéressant de déterminer la température finale qu'atteignent les tours de cuivre du moteur pendant son fonctionnement normal. Cette question est très simple à résoudre, car les températures finales sont proportionnelles aux carrés des courants permanents.

L'élévation de température est donc dans notre cas :

$$\frac{82{,}6^2}{90^2}\, 75 = 64^\circ C$$

Nous n'avons parlé que de l'augmentation de température des conducteurs en admettant, pour plus de simplicité, que les bobines inductrices et les fils de l'induit subissent la même augmentation de température. Ce n'est pas le cas en réalité, mais le principe du calcul n'en est pas modifié et l'on pourrait facilement séparer l'élévation de température des inducteurs de celle de l'induit.

Un coup d'œil jeté sur la fig. 4 montre que les courbes de $\Sigma i^2 t$, $\Sigma w t$ etc. sont à peu près des droites, de sorte que l'on pourrait, sans erreur considérable, envisager seulement la distance moyenne entre les stations, au lieu de tenir compte de toutes les distances partielles. Cette distance moyenne est, dans notre exemple

$$\frac{15550}{9} = 1730 \text{ mètres en chiffres ronds.}$$

Les valeurs correspondantes, déduites de la fig. 5 sont :

$$\Sigma i^2 t = 1595000 \quad \Sigma w t = 167800$$

et la durée du parcours = 196 secondes.

La durée du voyage est égale à la somme de la durée du parcours, de l'arrêt à la station intermédiaire et d'une part proportionnelle de l'arrêt au terminus :

$$176 \times \frac{1730}{15550} = 19 \text{ secondes.}$$

La durée totale est donc 235 secondes.

Le courant permanent équivalent est :

$$\sqrt{\frac{1595000}{235}} = 82{,}2 \text{ amp,}$$

Les pertes moyennes dans le fer sont :

$$\frac{167800}{235} = 705 \text{ watts}$$

Ces valeurs sont suffisamment exactes pour les besoins de la pratique.

O. A.

Groupe à 20.000 volts pour l'Ecole Polytechnique de Vienne.

La Compagnie de l'Industrie électrique et mécanique de Genève a récemment fourni au laboratoire de l'Ecole Polytechnique Impériale de Vienne un groupe très intéressant pouvant fournir du courant triphasé à 5.000 volts en continu à 20.000 volts.

Ce groupe comporte montés sur le même arbre :

1° Une dynamo à courant continu pouvant débiter 1 ampère sous 20.000 volts (la plus haute tension atteinte directement en continu). Sa vitesse est de 600 à 700 tours ;

2° Une petite dynamo excitatrice produisant du courant à 110 volts ;

3° Un alternateur à courant triphasé qui peut, au moyen d'un coupleur *ad hoc*, donner à 750 tours, 5000-2500 ou 1250 volts composés ; l'intensité peut être, à 5000 volts, avec cos $\varphi = 1,3 \times 4,3$ amp. ; pour cos $\varphi = 0,75,3 \times 5,8$ amp. L'excitation est également à 110 volts.

4° Un moteur de 440 volts, 70 à 80 amp. qui, comme l'alternateur et la dynamo, a 20.000 volts. Ce moteur a ceci de particulier que sa vitesse doit pouvoir être modifiée dans de grandes proportions, pour permettre des périodicités différentes dans l'alternateur.

Ces vitesses variables sont obtenues : de 0 à 600 tours au moyen de la mise en marche, et de 600 à 750 tours à l'aide de rhéostat de champ.

Voici maintenant quelques détails sur la machine à 20.000 volts (elle a donné jusque 25.000 volts) qui constitue ce qu'on peut appeler une véritable merveille.

La construction générale de cette intéressante machine est simple ; c'est une dynamo bipolaire ressemblant extérieurement à un alternateur moderne à pôles radiants.

L'inducteur est en fer lamellé et tourné à l'in-

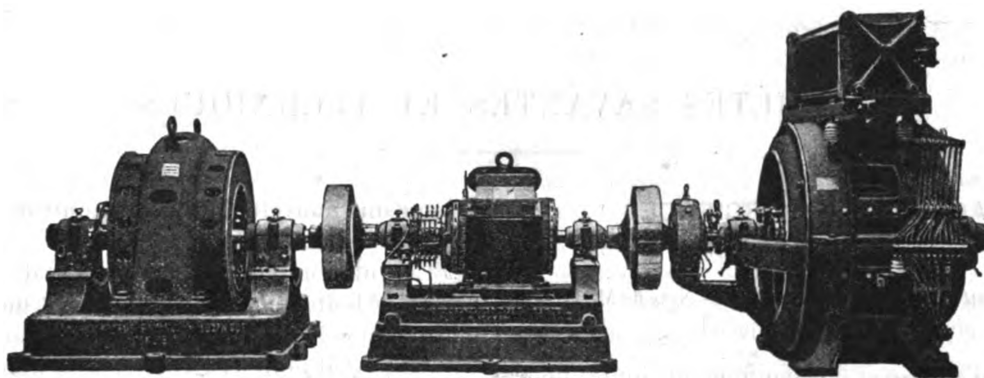


Fig. 1

térieur d'un anneau en deux pièces constituant l'induit ; celui-ci est donc fixe. Les bobines induites, au nombre de 48, sont encastrées dans autant de rainures pratiquées dans l'anneau. Elles sont isolées au moyen d'un papier enduit spécial.

Chaque bobine élémentaire comprend 500 spires de fil de cuivre d'un demi-millimètre de diamètre, isolé à la soie.

Il y a donc 24.000 spires induites, dont la résistance en marche est de 700 ohms, et capables de débiter normalement un ampère. Ces bobines, faites d'avance au moule, peuvent être mises et enlevées avec rapidité dans les rainures de l'induit.

Le collecteur composé de 96 segments séparés par un espace d'air, est fixe, à l'inverse des dynamos ordinaires. Le courant continu y est collecté au moyen de deux petits pinceaux métalliques qui glissent à l'intérieur de sa surface.

Comme il était fort à craindre que des arcs ne s'amorçassent entre les segments du collecteur, vu la forte différence de tension existant entre chacun d'eux (500 volts en moyenne), on a mis des condensateurs branchés en dérivation entre chaque lame du collecteur. Cette disposition a donné les résultats les plus remarquables. Ces condensateurs sont placés sur la machine.

Le courant d'excitation est fourni, comme nous l'avons dit, par une petite dynamo séparée, comme s'il s'agissait d'un alternateur ordinaire ; elle est soigneusement isolée du sol, ainsi que le rhéostat de réglage du courant d'excitation.

L'excitation minima prévue est de 14 ampères à 80 volts, mais pratiquement il suffit de 8 ampères seulement pour donner 23.000 volts à la vitesse normale de 600 tours,

Le voltage normal admis pour cette génératrice est de 20.000 volts, mais il a pu facilement être poussé pendant quelques minutes à 25.000 volts, ce qui était le maximum demandé pour le but auquel elle était destinée.

Les constructeurs croient qu'il n'y aurait pas de difficultés à atteindre des voltages plus élevés ; c'est avant tout une question de dimensions et, par conséquent, de prix. Il serait cependant préférable, dans ce cas, d'avoir recours à plusieurs machines de ce type mises en série ce qui per-

mettrait d'atteindre les plus hauts voltages possibles sans autres précautions que l'isolement contre le sol qui, du reste, s'obtient sans difficultés.

L'alésage intérieur de l'induit est de 58 centimètres. La vitesse périphérique de l'inducteur est donc, à 600 tours, de 18,22 m. par seconde, ce qui est très modéré (on dépasse parfois 50 m. par seconde).

Les services que peut rendre et qu'a déjà rendus cette machine sont très considérables.

Elle permet dans les lignes à haute tension de déceler des pertes causées, par exemple, par des branches d'arbres touchant la ligne, pertes que les galvanomètres n'accusent pas.

Elle sert pour les essais de câbles pour haute tension. Elle permet de curieuses expériences sur la combinaison des gaz sous l'influence de l'arc à très haute tension, plus particulièrement, sur la combinaison de l'azote et de l'oxygène pour la fabrication de l'acide nitrique.

Enfin, elle peut être employée pour de multiples essais qu'il était impossible de réaliser auparavant. E. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

(Séance du 5 Septembre)

Sur un interrupteur à vapeur. — Note de M. **K.-R. Johnson**, présentée par M. Becquerel.

L'idée d'employer l'échauffement Joule pour l'interruption d'un courant électrique a conduit M. Simon à la construction d'un interrupteur connu sous le nom de *Lochunterbrecher*. Des expériences que j'ai faites avec cet instrument m'ont convaincu que l'effet de celui-ci n'est pas dû à l'échauffement Joule, mais provient de causes qui sont bien étrangères à l'échauffement. Afin d'obtenir un interrupteur agissant par l'échauffement Joule, j'ai créé un dispositif que je vais décrire ci-dessous.

» Un entonnoir renversé dont le tube avait 7 m/m de diamètre et 10 m/m de longueur, était mastiqué à la partie inférieure d'un cylindre de 75 m/m de diamètre. Le vase ainsi formé fut immergé dans un gobelet, rempli d'un mélange de solution d'alun et d'acide sulfurique. Deux plaques d'aluminium étaient placées en électrodes, l'une dans le cylindre et l'autre dans le gobelet extérieur et ces électrodes étaient réunies aux pôles d'une batterie de 110 volts. En fermant le circuit on voit une bulle de vapeur se former dans le tube de l'entonnoir, s'échapper dans le cylindre intérieur, où elle est rapidement condensée ; le circuit est ouvert quand la bulle occupe le tube, et il est fermé quand la bulle s'est échappée dans le cylindre. Le courant peut donc former une nouvelle bulle, qui monte de nouveau dans le cylindre, etc.

» Cet interrupteur a l'inconvénient de fonctionner assez lentement (la fréquence est même plus petite que celle de l'interrupteur Foucault), mais d'autre part il jouit de l'avantage de fonctionner indépendamment des dimensions du circuit métallique et même en l'absence d'une bobine d'induction ou d'un solénoïde, tandis que les interrupteurs de Wehnelt et Simon exigent une self-induction, qui ne peut varier que dans des limites assez étroites. »

L'inversion thermoélectrique et le point neutre. — Note de M. **G. de Metz**.

» J'ai l'honneur de soumettre à l'attention de l'Académie les résultats de mes recherches sur l'inversion et le point neutre dans les phénomènes thermoélectriques. Ce chapitre de la Physique m'avait paru jusqu'ici définitivement établi sur des bases certaines, à tel point que j'avais d'abord eu l'intention d'appliquer tout simplement l'un de ses théorèmes aux mesures des températures très basses, mais le contrôle expérimental établi dans ce but m'a donné des soupçons, et dès lors j'ai cru nécessaire de revoir la question en entier.

» D'après les recherches antérieurement faites par lord Kelvin, Avenarius, Tait et autres, entre la température du point neutre T_n et la température de l'inversion T_{inv}, il existe deux relations simples et constantes

$$(1) \qquad T_{inv} = 2T_n$$

et

$$(2) \qquad T_{inv} = t_{10} + t_{20} = \text{const.},$$

t_{10} et t_{20} étant les températures des deux contacts du couple thermoélectrique au moment de l'inversion quand le courant s'annule.

» J'ai soumis à mon contrôle plusieurs couples : Pt-Au, Pt-Cu, Pt-laiton, Pt-Pb, Pt-Al, Ag-Zn, Pt-Zn, Pt-Ag, Pb-laiton, et c'est seulement pour le couple Pt-Zn que j'ai pu constater l'exactitude des deux équations (1) et (2). Pour d'autres couples, j'ai trouvé que T_{inv} change notablement de valeur quand la température t_{10} d'un des contacts décroît progressivement jusqu'à la température de l'air liquide et que, par conséquent, la température t_{20} de l'autre contact s'élève progressivement. La plupart des couples étudiés par moi m'ont conduit à cette constatation que la valeur de T_{inv} a, en général, une tendance à s'élever à mesure que la température t_{10} s'abaisse ; mais le couple Ag-Zn fait exception à cette règle et suit une loi inverse.

» Je n'entrerai pas ici dans les détails expérimentaux, mais je mentionnerai néanmoins quelques mesures de prudence qui ont été prises en vue de garantir ces observations contre les erreurs inhérentes à ce genre d'expériences. Sans les énumérer toutes, je citerai les principales : constance de températures des bains froids et des bains chauds, corrections des thermomètres et des lectures thermométriques t_{10} et t_{20} ; précautions prises pour garantir les autres contacts nécessaires, formant le circuit thermo-électrique entier du couple étudié, des effets perturbateurs des variations de la température pendant l'expérience. Les thermomètres dont je me suis servi dans ces recherches étaient de première qualité et plusieurs d'entre eux avaient été vérifiés à la Reichstechnische Anstalt de Berlin et comparés avec le thermomètre normal à hydrogène. Les métaux de ces couples avaient été étirés en fils de $1^{mm},03$ à $1^{mm},32$ de diamètre et de $1^{m},20$ de longueur, les bouts des deux fils formant couple étaient fortement pressés l'un contre l'autre au moyen d'une pince à vis spéciale, afin d'éviter toute influence des soudures et de simplifier la rechange des fils. Les bains froids étaient préparés dans des vases en verre argenté, à parois vides d'air, remplis tantôt d'une dissolution d'acide carbonique solide dans l'éther, tantôt d'air liquide ; le bain chaud à air était soit du système de Magnus, en fer, à parois doubles, chauffé au gaz, ou du système de Heraeus en porcelaine, recouvert de bandes de platine, chauffé par le courant électrique. Un galvanomètre apériodique du système de Desprez et d'Arsonval, d'une sensibilité de 10^{-10} ampères, servait d'indicateur du courant thermoélectrique ; l'affaiblissement nécessaire du courant pendant la mesure de la température T_n du point neutre se produisait au moyen d'une boîte à résistance intercalée dans le circuit.

» Voici le Tableau qui résume mes observations sur l'inversion thermoélectrique des couples étudiés :

TABLEAU I. — *Températures de l'inversion*

Désignation du couple	t_{10}.	T_{inv}.	t_{10}.	T_{inv}.	t_{10}.	T_{inv}.
	°	°	°	°	°	°
1. Pt-Au	+ 16,0	— 5,1	— 79,1	— 3,9	—186,6	+ 17,3
2. Pt-Cu	+ 15,8	— 12,5	— 77,1	— 4,5	—185,5	+ 21,7
3. Pt-Laiton	+ 13,9	+ 51,5	— 79,4	+ 54,8	—183,8	+ 70,2
4. Pt-Pb	+ 19,4	+119,8	— 79,1	+126,1	—158,1	+139,2
5. Pt-Al	+ 18,9	+167,4	— 79,8	+188,2	—181,1	+237,6
6. Ag-Zn	+ 15,6	+ 80,0	— 79,8	+ 72,5	—185,3	+ 26,4
7. Pt-Zn	»	»	— 79,8	— 69,9	—186,5	— 69,9
8. Pt-Ag	»	»	— 79,5	—110,7	—185,4	— 89,9
9. Au-Zn	»	»	»	»	— 180,5	—205,5
10. Pb-Laiton	»	»	»	»	—184,9	—212,9
Moyenne	+ 16,1	»	— 79,1	»	—184,5	»

» Il suffit de jeter un coup d'œil sur ce Tableau pour concevoir des doutes sur la constance de T_{inv}, et l'on se demande alors quelle est la valeur des équations (1) et (2). Pour répondre à cette question j'ai exécuté une seconde série d'expériences avec les mêmes couples, pour en tirer des données directes sur les températures T_n du point neutre, quand la tempéra-

ture t_{1_0} d'un contact s'abaisse graduellement, depuis celle de l'air ambiant jusqu'à celle de l'air liquide. J'ai trouvé, d'accord avec Gaugain, que la température du point neutre reste encore dans ce cas parfaitement constante; donc, on peut la considérer comme une véritable constante, caractéristique pour chaque couple.

» Ayant acquis ces deux résultats: la constance de la température du point neutre et la variation de la température de l'inversion, lorsque la température t_{1_0} d'un contact s'abaisse, je me suis demandé ensuite quelle est la liaison qui existe entre ces deux températures.

» Le deuxième Tableau répond à cette nouvelle question. En effet, il montre que la valeur de $2T_n$ est à peu près égale à T_{inv} quand le contact froid est à la température ambiante $t_{1_0} = 16°, 1$ C., mais que quand la température t_{1_0} s'abaisse au-dessous de la température ambiante, l'égalité (1) est de moins en moins satisfaite.

Tableau II. — *Températures du point neutre et de l'inversion*

Désignation du couple	$2T_{neutre}$	$T_{inv} t_{1_0} = 16°,1.$	$T_{inv} t_{1_0} = -79°,$	$T_{inv} t_{1_0} = -184°,4$
	°	°	°	°
1. Pt-Au..................	− 4,4	− 5,1	− 3,9	+ 17,3
2. Pt-Cu............	− 13,0	− 12,5	− 4,5	+ 21,7
3. Pt-Laiton....	+ 52,0	+ 51,5	+ 54,8	+ 70,2
4. PtéPb................ ..	+ 122,0	+ 119,8	+ 126,1	+ 139,3
5. Pt-Al....	+ 167,4	+ 167.4	+ 188,2	+ 237,6
6. Ag-Zn............	+ 81,0	+ 80,0	+ 72,5	+ 26,4
7. Pt-Ag..................	− 106,8	»	− 110,7	− 89,9

» En terminant cette Note, je me permets d'attirer l'attention sur le couple Pt-Zn, qui suit rigoureusement les lois indiquées par les équations (1) et (2) et qui, associé à un bon thermomètre à mercure, peut donc devenir un instrument précieux pour la mesure des basses températures. »

CONGRÈS DE VIENNE

Protection contre la chute des fils téléphoniques et autres par* M. Petit, *Ingénieur, chef de division de la Société Nationale des Chemins de fer vicinaux, Bruxelles.

Cetté question qui d'ailleurs est loin d'être encore résolue présente une grande importance et il ne paraît pas que l'enquête à laquelle il vient d'être procédé, permettra de se prononcer d'une manière certaine et absolue sur le meilleur système, à employer. Le choix se limite cependant, pour ainsi dire, entre deux dispositifs principaux: la réglette ou le fil de garde.

La réglette en bois qui fut appliquée dès le début de l'installation des lignes par trolley, compte encore de nombreux partisans; elle est d'installation facile et rapide, relativement peu dispendieuse, et dans la plupart des cas de ruptures de fils téléphoniques, elle s'est bien comportée.

L'administration des téléphones de Belgique a fait un relevé des accidents qui se sont produits pendant une période de 9 années, de 1894 à 1903; tous les réseaux de tramways, à l'exception d'un seul, employaient les réglettes; on signale 45 accidents, la plupart peu graves, ayant eu seulement pour conséquence la brûlure des fils fusibles, c'est-à-dire le fonctionnement des appareils de sécurité.

Ce relevé constate d'ailleurs, que si, dans certains cas d'accidents, les réglettes étaient en bon état, dans beaucoup d'autres le contact s'est produit parce que les réglettes protectrices étaient disjointes, ou que, par suite du mauvais état ou de l'absence des crochets, le fil téléphonique a été entraîné au delà de la zone protégée ou enfin que la protection faisait complètement défaut.

Les accidents les plus graves se sont produits lorsque le fil téléphonique brisé se trouvant sur le sol, a été entraîné par des chevaux ou des attelages au moment où il ne présentait aucun danger; cet effort a arraché les réglettes et produit l'accident.

Dans des cas semblables, absolument spéciaux, croirait-on qu'un autre système se fût mieux comporté?

D'ailleurs ce relevé statistique d'accidents ne pourrait faire condamner les réglettes que si l'on

pouvait lui en opposer un autre dressé pour des lignes de même importance comme longueur et comme trafic, protégées par des fils de garde; cette statistique devrait prouver que ce système s'est montré plus efficace.

L'auteur ne pense pas que semblable preuve puisse être faite et, bien que d'application récente en Belgique, le fil de garde a également de nombreux accidents à son actif.

La réglette présente cet avantage sérieux de ne pas compliquer l'équipement des lignes aériennes; cette considération a son importance si l'on se rappelle l'opposition que, pour des raisons d'esthétique, ce système de traction a rencontrée dans de nombreuses villes.

Les administrations de tramways n'hésitent pas à reconnaître que l'entretien des réglettes en bois est assez coûteux, qu'il exige une surveillance active et continue, mais, malgré cet inconvénient, ces administrations n'ont pas condamné ce système, car, au point de vue de la sécurité et de la régularité de l'exploitation, il ne donne lieu à aucun inconvénient et, de plus, il s'adapte à tous les systèmes de prise de courant, soit l'archet, soit la réglette.

Il n'est pas utile d'examiner ici les nombreux dispositifs employés pour assurer la fixation de la réglette sur le fil de trolley et éviter une détérioration trop rapide par le passage de la roulette; c'est une question d'application qui ne rentre pas dans le cadre de ce rapport; le meilleur système, au point de vue des frais d'entretien, est celui qui, quelle que soit l'usure de la gorge de la roulette, met la baguette hors d'atteinte des bords de la roulette.

***

Le dispositif de protection par fil de garde présente de nombreuses variétés dans l'application ; certaines administrations se contentent d'un seul fil tendu parallèlement au fil de trolley; à d'autres, on a imposé l'installation de plusieurs fils formant presque berceau au-dessus du fil de contact ; tantôt les fils de garde sont isolés; dans la plupart des cas, ils sont reliés à la terre, et enfin, ici les fils sont en cuivre ou en bronze de haute conductibilité, là on impose le fil d'acier.

Le système par fil de garde isolé est peu employé; s'il est efficace en cas de rupture d'un fil téléphonique, s'il ne produit pas de court-circuit par le décâblement de la perche, il constitue, s'il vient à se rompre lui-même et à toucher le fil de trolley, un danger pour le public et pour le personnel. Aussi peu d'administrations s'en déclarent-elles satisfaites, et les applications par fils de garde reliés à la terre sont de beaucoup plus nombreuses.

Mais, dans l'un comme dans l'autre cas, si un fil téléphonique vient à toucher à la fois un fil de garde et un fil de trolley, la protection est inefficace et le coupe-circuit fusible au poste téléphonique ou la rampe de garde est nécessaire pour éviter la brûlure des appareils.

C'est ainsi que les autorités ont été amenées à imposer plusieurs fils de garde disposés en triangle autour du fil de trolley afin d'éviter tout contact avec celui-ci, si le fil téléphonique vient à former blouclc. C'est la protection assurée pour les appareils téléphoniques, mais au point de vue de l'exploitation et du public, les chances de danger sont augmentées; tout décâblement de la roulette expose soit à un contact entre le fil de garde et le fil de travail, ou à la rupture du fil de garde par le choc, chute de ce fil sur le fil de trolley, perturbation complète dans le service des trains, avaries aux lignes aériennes, etc.

La mise à la terre du fil de garde peut être inefficace, dans un réseau très chargé où les disjoncteurs de la centrale sont réglés pour un débit élevé; en effet, une mise en communication du fil de travail avec le fil de garde occasionnée par un ou plusieurs fils étrangers peut ne pas faire fonctionner les disjoncteurs ; dans ce cas, les fils de garde sont le siège d'un courant intense qui les échauffe, et peut les briser de façon à les laisser en communication avec le fil de trolley et à supprimer la mise à la terre.

Dans ces conditions, les fils de garde constituent un danger plus grand que celui que l'on veut éviter.

On peut donc conclure que le fil de garde mis à la terre peut être un moyen de protection assez efficace pour un réseau étendu à faible trafic, tandis qu'il présente de graves inconvénients pour un réseau étendu à grand trafic. Et c'est cependant dans ce dernier cas que le nombre de fils téléphoniques sera plus grand, les chances de rupture de ces fils plus nombreuses et les décâblements de la roulette plus fréquents.

Pour parer à ce dernier inconvénient, il faudrait placer les fils de garde hors d'atteinte des

roulettes décâblées, mais alors la protection sera-t-elle efficace dans tous les cas de rupture ? Et le fil brisé chassé par le vent ne passera-t-il pas sous le fil de garde pour se mettre en contact avec le fil de trolley ?

Les administrations qui utilisent l'archet comme prise de courant rencontrent moins d'inconvénients au point de vue de la régularité du service que celles qui utilisent la roulette, lorsque les lignes aériennes sont protégées par des fils de garde mis à la terre.

Il serait trop long d'énumérer ici les accidents que le système de protection par fils de garde a à son actif, mais les renseignements dont on dispose sur ce point prouvent que les choses ne se passent pas toujours comme l'espéraient ceux qui ont conçu ce dispositif. Que dire, par exemple, de cet accident survenu sur les tramways de Berne ? Un fil d'horloge électrique de 2,2 m/m de diamètre tombe sur un fil de garde à la terre et touche simultanément le fil de contact ; le fil cassé décrit de grandes oscillations, et touche toujours le fil de trolley à la même place ; celui qui a un diamètre de 8 m/m fond, tandis que le fil d'horloge et le fil de garde ne reçoivent que des brûlures. Sur un autre réseau à fort trafic, à plusieurs reprises les fils téléphoniques brisés touchent simultanément le fil de garde et le fil de trolley, glissent le long de celui-ci, viennent en contact avec les supports de la ligne aérienne et font fondre l'isolant de ces appareils.

Enfin, les contacts fréquents par la perche entre le fil de travail et le fil de garde occasionnent des brûlures qui diminuent la résistance de ce fil au point qu'il suffit de la chute brusque d'un ou plusieurs fils téléphoniques sur le fil de garde pour provoquer la rupture de celui-ci et suprimer ainsi tout dispositif de protection.

Si l'on envisage maintenant la question du fil de garde au point de vue de l'établissement de ce dispositif, on est d'accord pour reconnaître qu'il donne lieu à beaucoup de difficultés, surtout si l'on est dans l'obligation d'installer plusieurs fils.

Si la ligne aérienne est supportée par des fils transversaux, il faut ou des poteaux plus longs et plus forts, ou des crochets supplémentaires placés dans les façades si l'équipement comporte des rosaces.

Dans le cas d'un équipement par potences, l'installation de plusieurs fils de garde se réalise difficilement.

Pour les traversées des grandes places découvertes, où le nombre des points de supports est nécessairement réduit, il est presque impossible de conserver le parallélisme complet entre les fils de garde et les fils de contact, et c'est cependant à cette condition que l'on peut escompter une sécurité relative.

Enfin, combien cette multiplicité des fils nuit à l'aspect de la voie publique dans l'intérieur des villes et a fourni des armes aux adversaires de la traction par trolley !

L'auteur ne croit pas devoir insister sur les systèmes mixtes qui, dans certaines villes, ont été imposés par les autorités. L'association simultanée de fils de garde et de réglettes est la complication des mesures de précaution sans avantage sérieux et sans la suppression des inconvénients que présente chacun des systèmes au point de vue de l'exploitation des tramways.

Les rampes de garde établies sur les supports des lignes téléphoniques, les coupe-circuits fusibles sont des dispositifs qui ont pour seul but la protection des appareils téléphoniques. Ils sont nécessaires et efficaces et il n'y a pas lieu de s'y arrêter plus longuement.

Pour terminer cet examen, il convient de signaler les filets protecteurs placés sous les fils téléphoniques et télégraphiques lorsque les administrations de ces services ont accepté de réunir ces fils en faisceaux pour traverser les lignes de tramways. C'est le meilleur dispositif, à la condition toutefois que ces filets soient suffisamment solides et bien entretenus pour résister au poids du givre, de la neige ou à un affaissement complet du faisceau.

Comme conclusion de cet exposé, on peut dire qu'aucun des systèmes employés jusqu'ici n'offre des garanties de sécurité suffisantes, qu'on ne pourrait édicter en cette matière des règles absolues applicables dans tous les cas et dans toutes les conditions et que, dans la recherche de la solution à adopter, il est difficile de tenir compte des divers intérêts en cause, d'une part ceux des téléphones, d'autre part ceux des tramways et du public, parce que ces intérêts sont très souvent en opposition les uns des autres.

Cette dernière considération amène l'auteur à examiner la question des protections au point de vue des conditions spécifiées dans les cahiers

des charges ou par les arrêtés de concessions.

Dans presque tous les pays d'Europe, les téléphones et les télégraphes appartiennent à l'État; il en résulte que celui-ci, appelé à imposer les conditions de sécurité, se préoccupe d'abord, avant tout, de sauvegarder la bonne marche de ses services téléphoniques et télégraphiques; de ce fait, quelles que soient les conditions dans lesquelles sont établis les réseaux qui desservent ces services, l'autorité s'empresse de mettre à la charge exclusive du tramway, l'installation de tous les dispositifs de protection et les modifications aux lignes du téléphone.

On a, dans certains cas, mis à la charge des tramways les dépenses faites pour l'installation du double fil au réseau téléphonique; bien que cette mesure ne rentre pas directement dans le cadre de cette question, il convient cependant de signaler cette tendance de mettre tout à la charge du tramway. Il est reconnu qu'un réseau téléphonique à simple fil est en lui-même défectueux, même quand il n'existe pas de tramways dans la zone desservie, et l'on profite de l'installation du tramway pour apporter une amélioration nécessaire dans tous les cas.

Il y aurait une question de droit très intéressante à examiner : pourquoi l'État pourrait-il se réserver le droit exclusif de faire usage des voies publiques pour l'installation de ses réseaux, et d'imposer des conditions souvent onéreuses aux compagnies de tramways pour leur permettre de s'établir dans la zone qu'il a occupée le premier ?

Peu d'administrations de tramways ont tenté d'en appeler aux tribunaux pour soutenir leurs droits à cet égard.

Il y a cependant certains cas spéciaux pour lesquels des jugements très intéressants sont à signaler.

La Société des tramways de Hambourg a obtenu un jugement du tribunal supérieur de l'Empire décidant que l'administration du tramway n'est pas obligée d'intervenir dans les dépenses occasionnées par l'installation de fusibles sur les fils à basse tension.

La Ville de Cologne, propriétaire des tramways, réclame devant les tribunaux à l'Administration des Postes, le remboursement des sommes dépensées pour l'installation des moyens de protection : le jugement n'est pas encore rendu.

Les tramways d'Helsingfors ont intenté une action semblable ; on en attend le jugement avec intérêt.

Ces litiges n'embrassent qu'une partie de la question : ils tendent à faire établir qu'il appartient aux propriétaires des appareils de supporter les frais d'installation des dispositifs de sécurité destinés exclusivement à protéger ces appareils.

Mais, où le cas devient intéressant, c'est lorsqu'une ville, propriétaire d'un réseau de tramways, soutient que l'usage des rues lui constitue un privilège tel que si l'Administration des Postes exige l'installation de dispositifs de protection au-dessus des fils de trolley, c'est à celle-ci à en supporter tous les frais, puisque les dangers auxquels il s'agit de parer ne peuvent exister que par suite de la présence des fils téléphoniques au-dessus des fils à haute tension. C'est la thèse que vient de soutenir la Ville de Mannheim et les jugements intervenus devant quatre juridictions successives et en dernier lieu devant le 6e Sénat civil de la Cour suprême de l'Empire allemand imposent à l'Administration des Postes le remboursement d'une somme de 30,000 marks à la Ville de Mannheim, montant des dépenses que celle-ci a faites pour l'installation des fils de garde au-dessus de ses fils de trolley.

Cet arrêt formera-t-il jurisprudence et verra-t-on d'autres procès s'engager dans les mêmes conditions en Allemagne et même dans d'autres pays ?

Nous ne pourrions le dire ; qu'il nous suffise en ce moment de noter cette orientation nouvelle de la question et d'espérer qu'elle aura pour résultat de faire comprendre en haut lieu que si les gouvernements jugent de leur devoir de défendre l'intérêt général en assurant le service des télégraphes et des téléphones dans les meilleures conditions de sécurité et de régularité, il y a aussi un grand intérêt public à ne pas rendre difficile ou à ne pas enrayer le développement des tramways.

Mais à côté de ces situations peu encourageantes, il convient de signaler combien simplement la question a été résolue par certaines autorités et notamment à Amsterdam où le réseau téléphonique a été entièrement mis en souterrain pour éviter tout croisement.

Il est vrai de dire que là les téléphones et les tramways sont propriétés de la ville, mais ce fait prouve que chaque service doit, dans sa

sphère, employer tous les moyens pour permettre aux autres d'exister et de fonctionner.

Une solution semblable est en cours d'exécution à Vienne, où l'on annonce que pour la fin de cette année tous les fils à basse tension seront placés sous terre aux endroits où ils croisent les fils de trolley.

C'est d'ailleurs la première mesure de précaution que prescrit le nouveau réglement édicté par le ministère des chemins de fer autrichiens.

Toutes les administrations de tramways seront unanimes pour féliciter le gouvernement autrichien d'avoir envisagé cette question si controversée avec cette largeur de vues et d'émettre le vœu que cet exemple soit bientôt suivi dans tous les autres pays.

L'auteur pense pouvoir tirer de cet exposé succinct de la question qui comporterait des développements beaucoup plus étendus, les conclusions suivantes :

1. Aucun des dispositifs de protection actuellement mis en œuvre ne donne des garanties de sécurité absolue, tant au point de vue de la bonne marche des services télégraphiques et téléphoniques, que de la régularité du service de l'exploitation et des accidents auxquels est exposé le public ;

2. Il convient de diminuer les chances de contact entre les fils à courant faible et les fils de tramways ; dans ce but, la diminution du nombre de croisements par la réunion des fils à basse tension en faisceaux est désirable, pour autant qu'on ne puisse les supprimer complètement par la mise en souterrain des fils à courant faible ;

3. Le déplacement des fils à courant faible se justifie par cette considération que dans la majeure partie des cas, les directions à suivre pour l'établissement de ces fils peuvent être aisément modifiées et s'écarter sans grands détours des lignes de trolley qui elles, doivent suivre invariablement le tracé du réseau de tramways ;

4. Il serait équitable que les propriétaires des lignes à haute et à basse tension prissent, chacun de leur côté, les mesures de précaution pour éviter les ruptures et les conséquences des contacts éventuels, que notammment la répartition des dépenses résultant de l'application de ces mesures fussent réparties entre les divers services en cause au lieu d'être mises exclusivement à charge des compagnies de tramways ;

5. Les prescriptions édictées par les autorités devraient être établies d'une manière définitive afin d'éviter que l'on impose le remplacement des dispositifs existants par d'autres moyens de protection qui entraîneraient de nouvelles dépenses considérables et qui pourraient exiger une transformation radicale des conditions d'établissement des lignes aériennes.

D'une manière générale, et suivant les prescriptions déjà établies dans divers pays, les compagnies de tramways ne devraient avoir à supporter les dépenses d'établissement des dispositifs de protection que pour la situation existant au moment de l'installation du tramway ; si dans la suite de nouveaux fils à courant faible sont établis en croisant les lignes de trolley existantes, il incomberait aux propriétaires des lignes téléphoniques et télégraphiques de supporter les dépenses qu'entraînerait l'installation des dispositifs de protection.

ANNEXE A.

Résumé des prescriptions imposées par les autorités dans les différents pays d'Europe pour parer aux dangers de la chute des fils télégraphiques et téléphoniques sur les fils de trolley.

Angleterre. — Réglementation de 1903.

Aux croisements des fils téléphoniques et télégraphiques avec les fils de contact, ou aux points où par suite de bris, il pourrait y avoir contact entre ces différents conducteurs, il sera établi des fils de garde mis à la terre par des connexions aux rails.

Ces fils de garde seront en acier galvanisé, ou bien, dans les contrées manufacturières où de tels fils seraient exposés à la corrosion, ces fils seront en bronze ou en cuivre étiré dur.

Le jeu ascendant de la perche de trolley sera limité de manière à éviter le contact avec les fils de garde en cas de déraillement de la roulette.

La disposition des fils de garde et leur nombre varient avec le poids des fils télégraphiques. Dans le cas d'un seul fil de trolley, deux fils de garde sont disposés de chaque côté du fil de trolley dans un plan horizontal distant d'au moins 60 centimètres du fil de trolley ; pour deux fils de contact, la protection comporte deux ou quatre fils de garde suivant la distance des fils de contact entre eux.

Les prescriptions stipulent que, partout où la chose est possible, il est désirable que l'on cherche à éloigner des fils à faible courant les fils à

haute tension et qu'une entente s'établisse dans ce sens entre les compagnies de tramways et les propriétaires des fils télégraphiques.

Cette nouvelle réglementation est d'application générale pour toutes les entreprises nouvelles; un délai d'une ou deux années est accordé pour son application aux lignes existantes.

Autriche. — Le concessionnaire doit prendre les dispositions suffisantes pour parer autant que possible aux dangers pouvant se produire par la chute d'un fil à faible courant sur un conducteur à fort courant.

Afin d'arriver à ce but, il y a lieu de prendre en première considération, surtout dans les rues à grande circulation, le déplacement des fils à faible tension hors de la zone dangereuse et même, le cas échéant, leur mise en souterrain.

Si cette solution ne peut être obtenue que moyennant une dépense trop considérable, les fils à faible tension peuvent rester dans la zone dangereuse, notamment dans les rues à faible circulation, à la condition de parer aux inconvénients et dangers au moyen de dispositifs appropriés.

Ces dispositifs sont les suivants :

1) Tous les fils à faible courant situés dans la zone, doivent être remplacés, s'ils sont en fer, par des fils en cuivre, en bronze ou silicium ou en toute autre matière correspondante, et d'un diamètre inférieur à 2 millimètres. Les croisements auront lieu autant que possible à angle droit et la distance entre les deux conducteurs sera d'au moins un mètre.

On réduit autant que possible le nombre de croisements en réunissant en faisceaux les fils à faible courant.

Tous les fils à faible courant seront pourvus de fusibles.

2) Les supports d'isolateurs du réseau téléphonique ou télégraphique situés de part et d'autre et les plus voisins du conducteur à fort courant seront munis de rampes ou d'anneaux de garde en cuivre reliés aux rails de roulement.

Ces rampes ou anneaux de garde sont formés d'un fil en bronze de 4 millimètres ; ils sont placés à 17 centimètres en avant des isolateurs et à 4 centimètres en dessous des fils.

3) Une réglette d'un profil convenable doit être installée avec crochets d'arrêt sur le fil de contact.

4) La forme et la nature de l'appareil de prise de courant du tramway doivent être telles que, dans le cas où un fil à faible courant repose sur le fil de contact, un contact métallique soit assuré entre le fil à faible courant et l'appareil de prise de courant.

A cet effet, dans le cas de l'archet, leurs deux ailes doivent être à nu ; et dans le cas de la roulette, celle-ci doit dépasser d'au moins 5^{mm} l'arête supérieure de la réglette de garde.

5) Exceptionnellement, les fils nus à faible courant peuvent être remplacés par des fils isolés. De plus, il est permis, mais toujours exceptionnellement, de parer aux dangers de rupture par l'établissement de filets de garde soit isolés, soit mis à la terre.

Telles sont les dispositions générales ; le ministre des chemins de fer se réserve le droit de prescrire dans chaque cas particulier, les dispositions qu'il jugerait nécessaire.

Bavière. — Aux croisements seront installés des réglettes, des fils de protection, fils de garde ou autres appareils de protection qui empêchent un contact métallique des conduites de tramways avec les fils téléphoniques et télégraphiques.

Le modèle de réglette à employer doit être soumis à l'Administration des Postes.

Les réglettes doivent être vérifiées avec soin et au moins une fois par semaine.

Afin de diminuer le nombre de croisements, l'Administration des Postes réunira en faisceaux les fils téléphoniques et ce, aux frais de l'administration du tramway.

Belgique. — Jusqu'en ces dernières années, les arrêtés du gouvernement autorisant l'établissement des lignes de tramways par trolley, stipulaient que le concessionnaire devait installer et entretenir à ses frais sur toute l'étendue des fils de contact, des dispositifs efficaces admis par l'administration des télégraphes en vue de prévenir le contact avec les fils téléphoniques et télégraphiques.

Sous ce régime, toutes les compagnies de tramways ont proposé la réglette qui a été agréée.

Dans la suite, l'administration des télégraphes a jugé ce système de protection insuffisant, et a prescrit l'emploi de trois fils de garde reliés à la terre et reliés entre eux, lorsque des lignes téléphoniques sont établies parallèlement aux lignes à haute tension.

Dans le cas où l'établissement de trois fils de garde serait impossible, un seul fil serait toléré, à la condition que le fil de trolley soit muni de réglettes.

Ces dispositions étaient applicables à toutes les installations existantes qui avaient établi la réglette.

A la demande des compagnies de tramways, ces prescriptions n'ont pas été appliquées, l'administration des télégraphes se réservant de procéder à un nouvel examen de la question, et tolérant provisoirement le *statu quo*.

Une réglementation nouvelle vient d'être établie ; elle prescrit l'installation de fils de garde reliés à la terre conformément aux dispositifs imposés par le Board of Trade (Angleterre). Ces prescriptions devront être établies *sur toute la longueur* des lignes aériennes, même là où il n'existe pas de fils téléphoniques. Un délai de deux ans est accordé aux compagnies de tramways pour se conformer à ces prescriptions et modifier dans ce sens les dispositifs de protection actuellement établis.

Danemark. — Il était auparavant fait usage de réglettes en bois fixées au fil de trolley ; lorsqu'un grand nombre de fils à faible courant croisait le fil de tramway, un filet protecteur était installé.

Ces dispositifs ont été jugés insuffisants et la nouvelle réglementation stipule qu'au croisement des lignes téléphoniques et télégraphiques, les conducteurs aériens des tramways doivent être munis d'un fil de garde placé à 500 millimètres au-dessus du fil de contact. Le fil de garde doit être mis à la terre.

Le concessionnaire du tramway doit supporter tous les frais de modification, de protection, etc. pour toutes les installations existant avant l'établissement du tramway.

France. — Règlementation de février 1903.

Art. 4 § 3. — Aux points de croisement et dans le cas de courants à haute tension, tout contact éventuel entre les conducteurs d'énergie électrique et les fils télégraphiques ou téléphoniques préexistants, sera prévenu à l'aide d'un dispositif mécanique de garde ou, à défaut, par une modification des lignes de l'Etat.

§ 4. — L'administration pourra établir, si elle le juge nécessaire, aux frais des permissionnaires, des coupe-circuits spéciaux sur les lignes télégraphiques ou téléphoniques intéressées.

§ 5. — Si l'administration établit ultérieurement des lignes télégraphiques ou téléphoniques dans le voisinage des conducteurs d'énergie électrique, les frais résultant des mesures de précaution indiquées ci-dessus seront à la charge de l'administration et le permissionnaire sera tenu d'exécuter les travaux qui lui seront indiqués.

Italie. — 1° La ligne télégraphique ou téléphonique doit être transformée en câble sous plomb armé et mis souterrainement au point de croisement avec la ligne de tramway, ou bien être suspendue à un fil d'acier tendu entre les poteaux terminaux de la ligne aérienne.

2° Des fils de garde métalliques seront tendus au-dessus des lignes de contact de manière à empêcher que les fils téléphoniques et télégraphiques puissent en tombant toucher les fils de trolley.

Des fusibles doivent être placés à l'entrée des bureaux télégraphiques ou téléphoniques.

Norvège. — Le gouvernement n'a pas encore arrêté de règlement définitif.

L'administration des télégraphes ordonne généralement le placement de trois fils de garde en acier de 3 millimètres de diamètre, distants entre eux d'environ 50 centimètres et placés à un mètre du fil de trolley.

Ces fils de garde sont mis à la terre en les connectant aux rails.

On prescrit également de placer des coupe-circuits fusibles sur les fils télégraphiques ou téléphoniques.

On a autorisé une compagnie de tramway à établir un dispositif de protection constitué par deux fils de garde en cuivre, ou bien de trois fils en acier.

Pays-Bas. — Les prescriptions actuellement en vigueur ne sont pas définitives ; la question est actuellement soumise à l'examen d'une commission.

Les conditions actuelles sont les suivantes :

1) Il sera établi, aux frais du concessionnaire du tramway, des dispositifs de sécurité dans les bureaux des télégraphes et des téléphones.

2) Aux points de croisement, les fils à courant faible seront entourés d'une matière isolante à tenir en parfait état d'entretien ; de plus un filet de garde relié à la terre doit être placé entre les

conducteurs à potentiel différent. Les dépenses résultant de ces travaux sont à la charge du concessionnaire, à moins d'une entente entre les intéressés.

Portugal. — Règlement du 26 mars 1903.

Art. 28. — Des fils de protection seront établis et tenus en parfait état dans tous les endroits où les fils de tramways croisent les fils télégraphiques et téléphoniques.

Prusse. — (Arrêté du 9 février 1904, remplaçant l'arrêté du 31 décembre 1896).

1) Lorsque l'adduction du courant se fait par un fil aérien à nu, celui-ci doit, à tous les endroits où il croise des fils télégraphiques et téléphoniques préexistants, recevoir un dispositif de garde empêchant un contact des deux fils ou rendant tout au moins ce contact inoffensif.

Ces dispositifs peuvent comprendre soit des fils ou des filets de garde mis à la terre, soit des réglettes de garde placées sur le fil de trolley, soit tout autre dispositif analogue.

2) Dans le cas de feeder aérien à nu, celui-ci, là où il croise des fils téléphoniques ou télégraphiques préexistants, doit, pour empêcher un contact éventuel avec ces derniers, être ou bien isolé sur une longueur suffisante, ou bien recouvert d'une série de fils de garde ou d'un filet de garde mis à la terre.

S'il est prouvé, dans la suite, que les prescriptions édictées dans le présent arrêté sont insuffisantes pour éviter tout danger pour l'installation proprement dite des services télégraphiques ou téléphoniques ou pour leur personnel, le service de contrôle se réserve le droit de prendre en tout temps d'autres mesures complémentaires.

Suède. — Il n'existe pas encore de règlement spécial pour les tramways.

Actuellement, les administrations de tramways ont à se conformer aux règles générales qui ont été établies, par arrêté du 31 décembre 1902, pour les fils de lumière et de transport de force.

Un nouveau règlement est à l'étude.

Les prescriptions actuelles sont :

1. Diminuer le nombre des croisements ; réunir les fils télégraphiques et téléphoniques en faisceaux ; les dépenses qui en résultent sont à la charge du concessionnaire.

2. Les croisements doivent se faire à angle droit, autant que possible. Au-dessus des fils de contact et parallèlement à ceux-ci, on établira un ou plusieurs fils de garde d'au moins 4 millimètres de diamètre et d'une résistance minima de 480 kg. Ces fils seront établis de manière à rendre tout contact impossible, et les fils de garde seront mis à la terre par les rails.

3. On pourra prendre d'autres mesures de sécurité pour parer aux dangers que présentent les croisements des conducteurs.

Suisse. — (Arrêté du 7 juillet 1899).

On cherchera à réduire le plus possible le nombre des croisements en réunissant les fils à faible courant en grands faisceaux.

Il sera établi au-dessus des lignes de contact aux points de croisement, des fils de garde parallèles aux lignes de contact et reliés à la terre.

Dans les endroits où la pose des fils de garde présente des difficultés considérables, on placera un solide filet enserrant le faisceau de fils à faible courant. Ce filet sera relié à la terre et aux rails.

On pourra se passer de dispositif de protection dans les cas où une ligne à faible courant (y compris le fil de retour) est constitué par du fil d'acier de 3 millimètres et n'offre pas une portée supérieure à 30 mètres. Dans le cas où il est impossible d'installer des fils de garde ou des filets, on établira pour protéger les fils à faible courant des rails de terre dits " Mertsching,, ou un dispositif analogue.

Un arrêté du 10 Janvier 1902 autorise le croisement des lignes à courant faible avec des lignes à haute tension sans exiger de dispositif de protection.

a) Si la ligne à courant faible est construite en fil de bronze, de 3 millimètres de diamètre au moins, et si la portée n'est pas supérieure à 20 mètres.

b) Si la ligne à courant faible est construite en fil d'acier d'un diamètre d'au moins 3 millimètres et si la portée n'est pas supérieure à 30 mètres.

Il y a lieu de noter les stipulations de l'art. 17 de la loi fédérale du 24 Juin 1902, relatives à la répartition des frais résultant des mesures de sécurité à prendre, y compris les déplacements des lignes téléphoniques publiques aériennes. Ces frais devront être supportés en commun par les entreprises intéressées.

Pour la répartition de ces frais, il n'y a pas lieu de rechercher laquelle des lignes a été établie la première ou sur quelle ligne sont

apportés les changements ou les mesures de sécurité.

L'adjonction aux lignes publiques, du double fil et de tous genres de conduites de retour isolées de la terre est exclusivement à charge de la Confédération.

Russie. — Aux croisements des lignes de tramways avec les fils télégraphiques et téléphoniques, ces derniers sont remplacés par des câbles souterrains ou aériens.

Cependant, des exceptions sont faites à cette règle quand le faisceau des fils à faible courant ne compte que de 1 à 4 fils.

Dans ce cas :

a) la distance entre les deux conducteurs ne doit pas être inférieure à un mètre ;

b) le croisement doit se faire à angle droit ;

c) les fils à faible courant seront recouverts d'un enduit isolant.

Pour les feeders aériens, on doit installer des filets protecteurs métalliques et dans certains cas, si les conditions locales l'exigent, on peut être amené à recouvrir les feeders d'un enduit isolant.

Les appareils téléphoniques doivent être munis de coupe-circuits fusibles.

Toutes les dépenses provoquées par la transformation des lignes télégraphiques et téléphoniques de l'Etat sont à la charge du concessionnaire du tramway ; quant aux dépenses de transformation du fait de l'établissement d'un tramway des réseaux téléphoniques publics exploités par des particuliers, elle sont supportées par ceux-ci.

Cette réglementation n'est pas définitive.

Wurtemberg. — Aux endroits où les lignes téléphoniques existantes croisent le fil de trolley, on établira des fils ou filets de garde mis à la terre aux frais du tramway. L'administration des télégraphes déplacera les fils à courant faible et les réunira en faisceaux, avec fils ou filets de protection aux croisements, ou établira des gaines isolantes sur les fils à courant faible. Les dépenses seront supportées par l'administration du tramway.

Il faut également établir des dispositifs de protection dans le cas ou les lignes à courant faible sont établies parallèlement aux lignes de trolley et à une distance inférieure à 10 mètres.

Des coupe-circuits fusibles seront établis sur les lignes télégraphiques et téléphoniques aux frais de l'administration du tramway.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant : A. BONNET.

Tome XLI. Samedi 29 Octobre 1904. 11e Année. — N° 44

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

CALCUL DES RÉSEAUX DE TRACTION

Les fortes chutes de voltage sur les lignes de tramways donnent lieu, en général, à une double perte financière : celle due à la perte d'énergie en ligne, qui croît avec le carré du courant, et celle due à une diminution des recettes, provenant de la diminution des vitesses.

Le calcul de l'alimentation d'une ligne a donc un très grand intérêt au point de vue économique. Les données principales de ce calcul sont la quantité et la qualité du trafic. La quantité est parfois très difficile à déterminer : en effet, on ne peut pas toujours se fonder sur le mouvement existant, car, bien souvent, ce mouvement est augmenté, ou créé même, par l'ouverture d'une ligne. Pour ce qui concerne la qualité en général, le trafic d'un système de tramways varie périodiquement, et l'on peut distinguer deux sortes de variations : l'une est à oscillations lentes et se produit d'une saison à l'autre, avec un passage progressif; l'autre, d'un caractère tout à fait contraire, a lieu toutes les semaines, et plus rarement tous les quinze jours, suivant l'endroit et les habitudes. Un exemple du premier cas est donné par beaucoup de tramways suburbains et de banlieue; on rencontre le deuxième cas à peu près dans toutes les lignes, surtout celles des centres industriels. En Amérique et en Angleterre, par exemple, le trafic du samedi est considérablement plus fort que celui des autres jours.

Il y a donc à considérer, dans le calcul d'un réseau, les jours de plus grand trafic dans la saison de plus grand trafic. C'est pour ces jours qu'on peut établir la chute maxima de voltage en ligne telle qu'elle puisse permettre un service déterminé. A l'occasion de fêtes

spéciales, prévues ou imprévues, ce trafic maximum peut être considérablement dépassé ; l'emploi des machines de réserve devrait alors suffire à ces rares demandes, et les dévolteurs devraient être de capacité propre à empêcher, même dans ces cas, des chutes trop fortes à travers les rails. Mais, pour ce qui concerne les chutes de voltage en ligne, la somme totale des pertes annuelles ne serait pas sensiblement affectée si, dans quelques rares occasions, les limites établies étaient dépassées.

Une fois qu'on a déterminé les conditions de trafic et qu'on s'est fixé sur la limite des

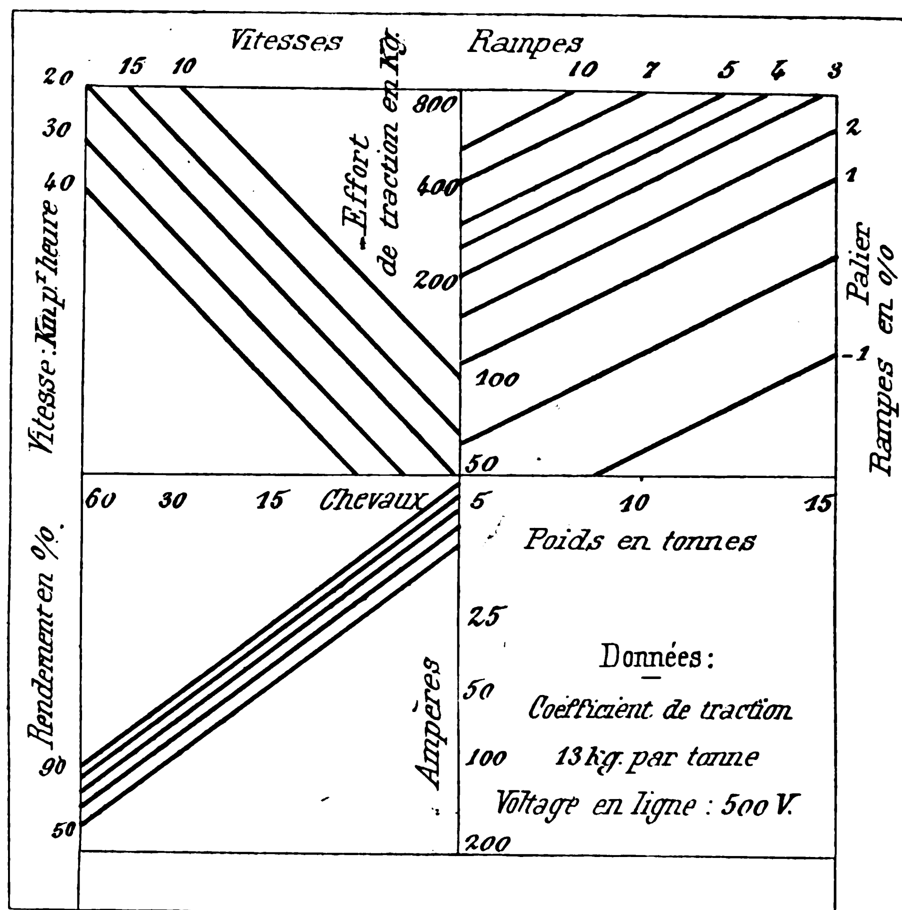


Fig. 1

chutes, on peut procéder aux calculs en appliquant, à chaque cas spécial, les règles générales.

Pour les services suburbains et pour les services urbains peu importants, le calcul se présente très facile, car on n'a, en général, qu'une ligne principale avec quelques embranchements. Il s'agit donc de déterminer la position plus défavorable des voitures, en accord avec l'horaire établi, et de chercher ensuite les courants absorbés. Cette dernière recherche peut être faite très facilement et très vite à l'aide de diagrammes spéciaux, comme celui de Mr. Arnold G. Hansard (Tramway Tractive Effort and Power Diagram.), car, en connaissant le poids d'une voiture et son rendement approximatif, l'on peut lire le courant absorbé à une vitesse donnée, pour un voltage de 500 volts en ligne (fig. 1). L'on voit que la vitesse est supposée connue : il est, en effet, bien simple de la connaître si l'on dispose d'une série de courbes, pour chaque

type de moteur, qui donnent les vitesses en fonction des rampes. La fig. 2 en donne un exemple pour un des moteurs G. E. 58.

En connaissant donc le débit tout le long de la ligne, il est facile de déterminer les sections des feeders pour des chutes de voltage au-dessous de la limite imposée. Ayant déterminé ces sections, on peut vérifier à la suite si elles sont les plus économiques soit par une méthode graphique que par l'emploi des formules bien connues.

Mais, quand il s'agit de déterminer les sections des conducteurs pour un réseau compliqué, avec beaucoup de mailles et alimenté par plusieurs stations ou sous-stations, les calculs deviennent beaucoup plus longs. C'est le cas, en général, des réseaux urbains importants. Si l'on veut appliquer, par exemple, la méthode d'Herzog au cas de la fig. 3, on devrait d'abord fixer la position plus défavorable des voitures, ensuite déterminer pour chaque nœud la composante des débits des différents côtés, et enfin résoudre un système simultané de sept équations. Ceci est un travail très long, qui demande, à la

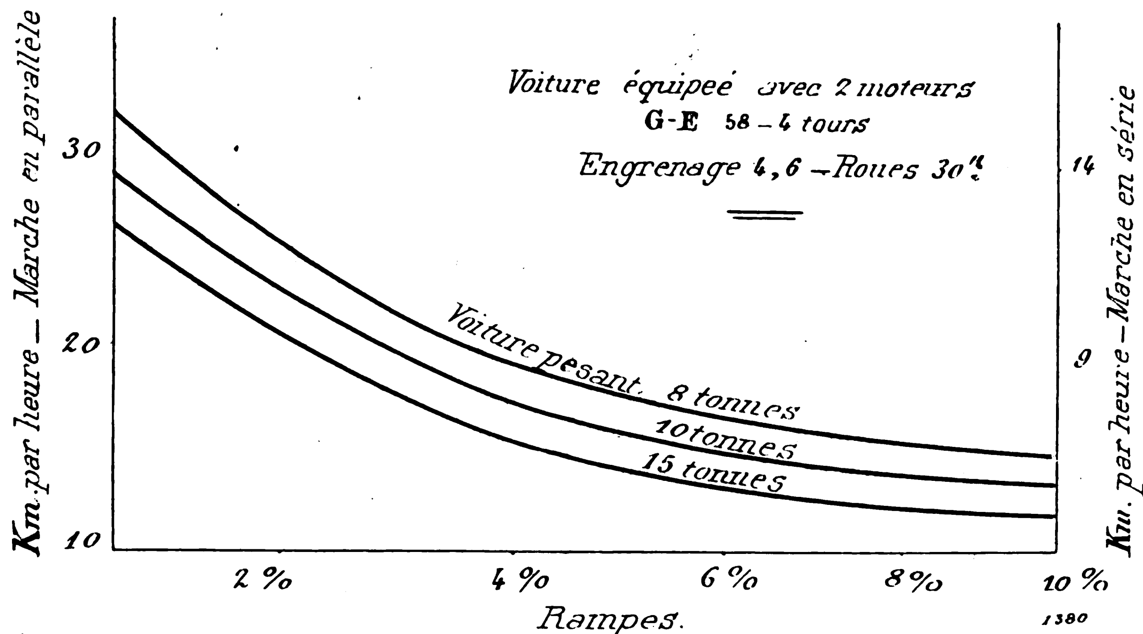


Fig. 2

rigueur, deux opérateurs pour le contrôle des opérations, à cause des nombreux coefficients numériques. En outre, il est bien probable qu'une seule hypothèse sur la position des voitures ne soit pas suffisante à donner une idée complète du fonctionnement du réseau. Par exemple, il arrive bien souvent que l'intensité du trafic, à cause de circonstances locales, varie d'endroit soit périodiquement soit exceptionnellement ; il peut aussi arriver, dans le cas de plusieurs stations alimentant le même réseau, qu'une d'elles cesse de fonctionner, et c'est intéressant alors de connaître comment les différentes lignes sont affectées. Donc, dans l'application de la méthode d'Herzog (ou autre équivalente), il faudrait sans doute considérer tous les cas réalisables, c'est-à-dire former et résoudre un système d'équations plus ou moins long, autant de fois qu'il y a d'hypothèses à faire. C'est un travail assez fatigant, qui ne s'adapte pas bien au caractère plutôt commercial des Compagnies d'exploitation.

L'auteur, ayant dû contrôler un réseau du genre de celui indiqué par la fig. 3 et considérer plusieurs conditions de trafic et de débit, avait cru qu'un modèle bien fait de

ce réseau lui aurait donné les résultats qu'il cherchait beaucoup plus vite que des calculs laborieux. L'idée, d'ailleurs, n'était pas nouvelle. On sait, en effet, que, pour l'étude des réseaux d'éclairage de Berlin et Milan, on avait employé avec succès des modèles;

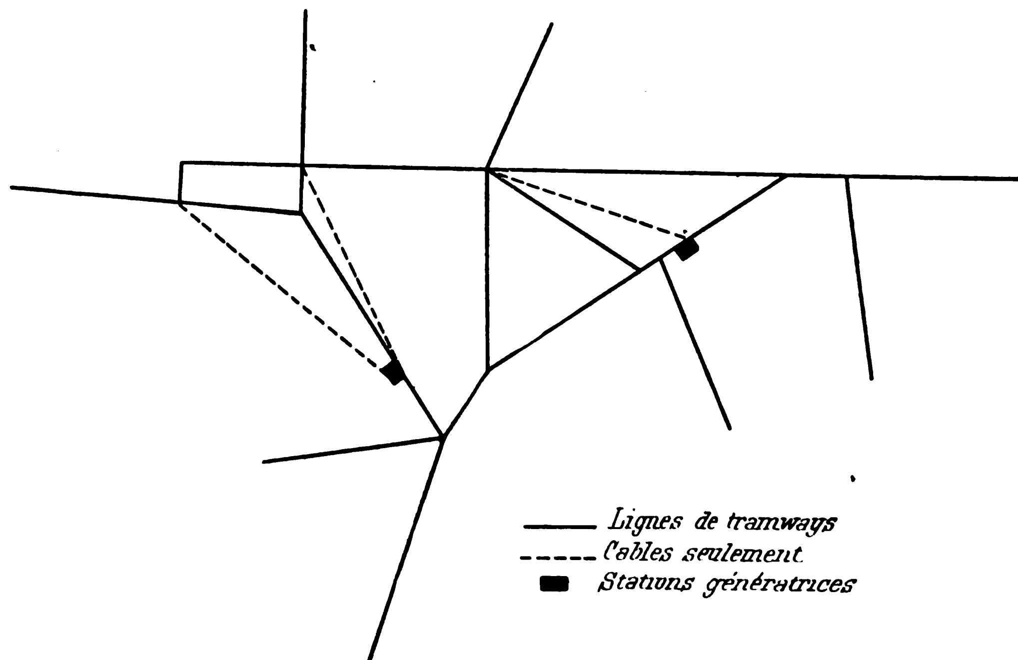


Fig. 3

malheureusement, aucune publication n'avait été faite sur les détails de tels essais. Pour cela, tout ce que l'auteur a fait à ce sujet, à cause du caractère primitif de plusieurs détails, doit être considéré plutôt comme un essai de la méthode que comme l'étude d'un réseau.

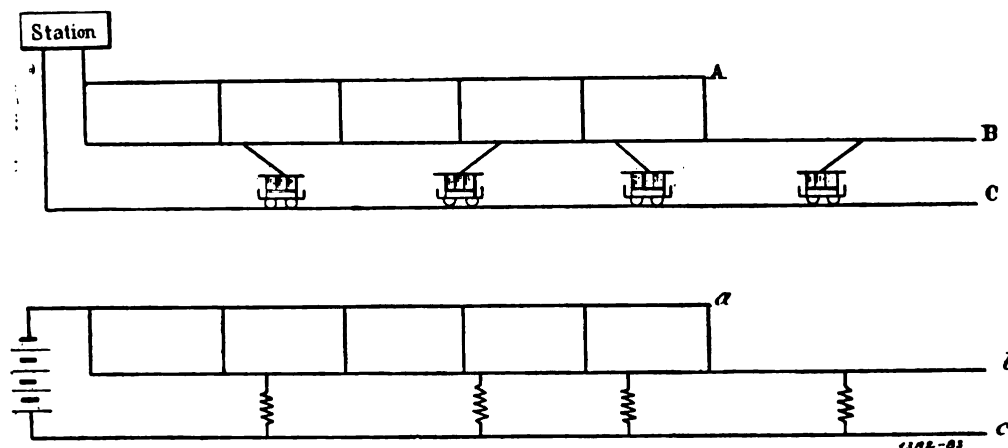


Fig. 4 et 5

Principe de la méthode. — Supposons d'abord le cas très simple d'une ligne telle qu'elle est représentée par la fig. 4. Si l'on construit, à une échelle convenable, un modèle de cette ligne (fig. 5) en substituant à la station génératrice un élément d'accumulateur, aux conducteurs A, B, C, trois fils métalliques *a*, *b*, *c* d'une résistance proportionnelle à

A, B, C, et aux différentes voitures des résistances convenables, l'on pourra connaître, à l'aide d'un milli-voltmètre, les chutes de voltage à travers la ligne aérienne et les rails. Si la ligne en question est pourvue de survolteurs et dévolteurs, on pourra facilement réaliser ces conditions en employant deux éléments en plus en série avec celui du circuit principal, pourvu qu'on intercale dans les circuits des câbles survoltés et dévoltés des résistances convenables, afin que les augmentations positives et négatives de voltage soient les mêmes que dans la réalité.

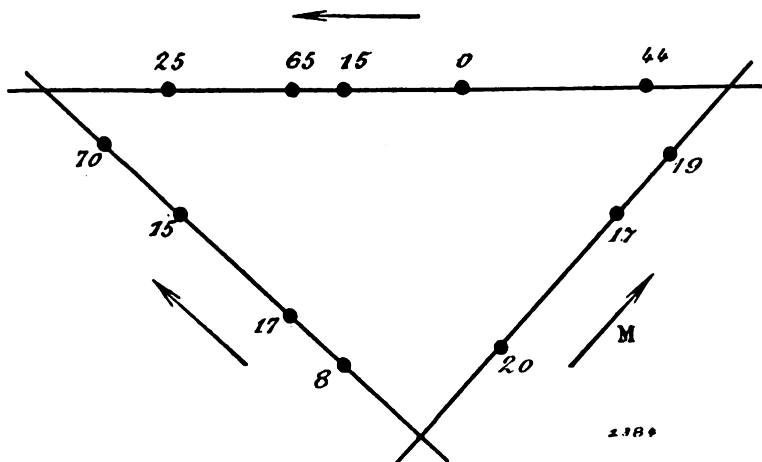


Fig. 6

Cette méthode, pour ce qui concerne son exécution, peut être réduite à une grande simplicité et peut être appliquée aisément à l'étude des réseaux compliqués. Voici les dispositions choisies par l'auteur pour le réseau de la fig. 3, d'une extension d'environ 100 kilomètres carrés. Ayant choisi une échelle de six pouces par mille, on avait dessiné le réseau en changeant la forme de la direction et des différentes lignes dans le but d'avoir, autant que possible, des alignements droits, mais en gardant soigneusement leur exacte longueur. Ce plan avait été fixé sur un tableau en bois. En connaissant les pentes et le poids des voitures, on avait pu déterminer, à l'aide d'un diagramme similaire à celui de la fig. 1, le courant absorbé sur chaque pente ; ces courants avaient été marqués sur le plan (fig. 6) de manière qu'en suivant la direction d'une flèche, on lisait successivement la variation du débit. Ces chiffres, comme on le sait, sont les mêmes pour la marche en série que pour la marche en parallèle.


Fig. 7

Rails. — Le réseau réel étant à voie unique avec 20 0/0 de double voie et le poids des rails de 44 kg. par mètre, la résistance kilométrique du circuit de retour est donc de 0.016 ohms. On avait choisi, pour les rails du modèle, deux fils en maillechort de la London Electric Wire Co., le n° 18 et le n° 26 S. W. G., dont la résistance combinée était de 168 ohms par mètre, c'est-à-dire de 0.016 ohms par 152 m/m (le kilomètre de l'échelle choisie). Ces deux fils avaient été fixés sur la table au moyen de cavaliers en bois (fig. 7), utilisés ensuite aussi pour le fil de trôlet et les feeders. En posant ces fils, on avait eu soin d'employer les plus grandes longueurs possibles ; par exemple, le premier trait fixé avait été A B C D E F G H C K B (fig. 8). Cette précaution était nécessaire pour éviter les résistances de contact, qui peuvent entraîner des erreurs sensibles dans les essais. Quand il était absolument nécessaire, on avait fait des joints très serrés avec du fil en cuivre n° 20 ; à travers ces joints, la chute de voltage, réduite à la réalité, n'a jamais dépassé 0.3 volts, et l'on pourrait en tenir compte en connaissant leur nombre pour chaque ligne. Pour ce qui concerne les câbles dévoltés, on avait décidé d'avoir les points de leur connexion avec les rails à un potentiel d'environ un volt supérieur à celui des bornes négatives au tableau de distribution, ce qui est bien dans les limites

de la pratique. Pour cela, au lieu d'employer un élément en série, comme il a été expliqué avant, on a utilisé une disposition plus simple, celle de relier les deux stations M et N (points du modèle reliés directement aux bornes de la batterie) aux points 1-2-3-4-5-6

Fig. 8

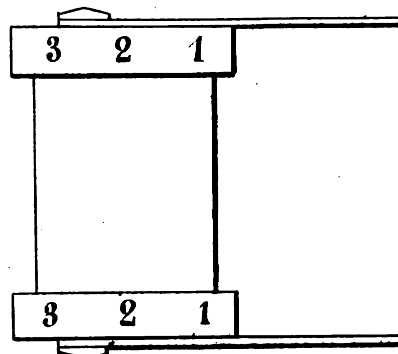
(fig. 8) à l'aide de doubles conducteurs en cuivre (n° 20, S. W. G.). Il faut remarquer que l'emploi de simples conducteurs de retour peut être seulement possible dans un modèle où les dépenses d'installation n'ont pas d'importance ; si, dans la ligne réelle, on avait voulu employer des câbles de retour ayant le même effet que ceux employés dans le modèle, leur résistance aurait dû être à peu près dix fois moindre que celle des rails et leur poids aurait dépassé les 150 tonnes.

Fig. 9

Ligne aérienne et feeders. — Le double fil de trôlet, n° "0" S. W. G., était remplacé par un fil en maillechort, n° 27 S. W. G., fixé aux gorges des cavaliers. Pour les feeders, ceux de 0.1 et 0.2 pouces carrés de section étaient remplacés par les n°s 30 et 26 S. W. G. (maillechort). Les autres dimensions n'avaient pas pu être trouvées parmi les fils du marché ; ainsi, on avait été obligé d'employer des longueurs convenables des n°s 30, 27 et 26, soit seuls, soit en parallèle. Les résistances de tous ces fils avaient été soigneusement contrôlées à un pont de Wheatstone, car, parfois, elles s'éloignaient de 5 0/0 de celles spécifiées.

Voitures. — Elles étaient remplacées par des résistances de deux types différents.

Tous les deux types étaient des petites bobines enroulées avec du fil Eureka n° 30 de la London Electric Wire Co. (6.4 ohms par mètre). Chaque bobine avait deux enroulements isolés l'un de l'autre, et chaque enroulement quatre dérivations intermédiaires (fig. 9); ainsi, avec chaque type il était possible d'obtenir au moins 15 valeurs différentes de résistances, suivant qu'on employait un seulement des enroulements ou les deux enroulements en série ou en parallèle. Pour fixer la longueur du fil à employer, on avait supposé aux points d'alimentation M et N un voltage de 1.85 volts. En choisissant une échelle de 1/400 pour les courants, la résistance, correspondant à une voiture absorbant, par exemple, 10 ampères, était donc $\frac{1.85}{10} 400 = 74$ ohms. Le tableau suivant donne les longueurs totales et partielles employées ainsi que le courant correspondant dans la réalité avec les différentes connexions des enroulements.



On peut obtenir encore d'autres valeurs de courants en employant deux bobines en parallèle ou en série. Il faut remarquer que les conditions d'échauffement ne permettaient pas, avec un voltage de 1.85 volts, des courants supérieurs à $\frac{110}{400}$ ampères. Si le voltage est différent, le coefficient 400 varie, mais c'est tout. Parfois, on avait eu un voltage de 1.2; dans ce cas, le coefficient devenait $\frac{74}{1.2} 10 = 616$.

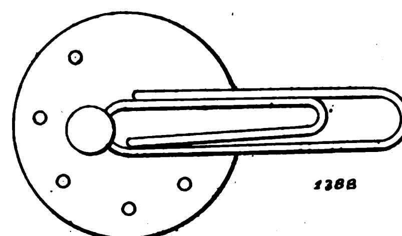


Fig. 10

La fig. 10 montre quelques détails de construction des bobines : par exemple, les prises de courant étaient faites avec des ordinaires *gem-clips*, auxquelles on fixait la

Dérivation N°	1	2	3	4	5	Connexion	
	5728	4582	3818	3276	2546		Longueurs en m/m.
I. — Type	74	59	49	42	33		Résistances en ohms.
2 enroulements en série . . .	10	12.5	15	17.5	22.5	A.	Ampères.
1 enroulement.	20	25	30	35	45	B.	
2 enroulements en parallèle. .	40	50	60	70	90	C.	
	2083	1762	1527	1347	1206		Longueurs en m/m.
II. — Type	26.8	22.7	19.6	17.4	15.5		Résistances en ohms.
2 enroulements en série . . .	27.5	32.5	37.5	42.5	47.5	A.	Ampères.
1 enroulement.	55	65	75	85	95	B.	
2 enroulements en parallèle .	110	130	150	170	190	C.	

dérivation qu'il fallait. Pour une voiture absorbant 50 ampères, par exemple, la combinaison choisie était (I—C—2). Ces contacts ont prouvé être très efficaces.

Stations génératrices. — Elles étaient remplacées par des éléments d'accumulateurs Tudor, type H. K. 5. Au moyen de très faibles résistances, en série, on avait réduit à

zéro la différence de potentiel entre les points M et N; on supposait donc qu'aux deux stations il y avait le même voltage. Dans chacun des quatre conducteurs venant de la batterie, on avait intercalé un interrupteur.

Résultats obtenus. — Pour les lectures, on s'était servi d'un milli-voltmètre Kelvin, à deux échelles 0 — 0.025 et 0 — 1 volts. En outre, une troisième échelle 0 — 2 volts était obtenue avec une résistance additionnelle en série. Cet instrument se prêtait aussi pour lire les courants, en employant un shunt convenable.

Le premier inconvénient réalisé était l'inconstance des lectures : l'aiguille du milli-voltmètre ne restait jamais bien tranquille. La cause en était quelques mauvais contacts dans les circuits principaux. Y ayant remédié, on avait pu faire les lectures sans d'autres inconvénients. On avait aussi remarqué que la résistance de contact à travers les interrupteurs ne restait pas constante si les surfaces n'étaient pas soigneusement propres.

Pour le réseau à l'étude, on avait fait huit séries de lectures, savoir : chutes de voltage à travers la ligne aérienne et les rails, à partir du point M et du point N, quand le réseau était alimenté simultanément par M et N; et les mêmes chutes, à partir de M et N, quand le réseau était alimenté ou par M ou par N seulement. Avant de commencer chaque série de lectures, on lisait d'abord la différence de voltage entre les conducteurs positif et négatif, afin de connaître l'échelle pour les courants.

Au moyen de ces essais, on a pu vérifier à quels endroits et dans quelles conditions la chute à travers les rails dépassait la limite réglementaire, et constater quelle était l'influence d'un câble additionnel positif réunissant les deux stations génératrices quand l'une d'elles ne marchait pas. Un câble d'environ 300 $^{mm^2}$ de section réduisait la chute maxima de voltage de 230 à 175 volts; la chute à travers les rails, naturellement, ne pouvait pas être évitée : seulement, en sachant que cette chute, entre les deux stations, était de 16 volts et que le courant maximum atteignait 1.000 amp., on était dans la possibilité de donner la spécification pour un dévolteur convenable qui, dans un pareil cas, aurait pu permettre le fonctionnement d'une station seule sans danger d'électrolyse.

D'autres questions importantes, comme le fonctionnement des lignes en sections séparées, les points plus convenables pour les raccords des feeders, etc., peuvent être étudiées à l'aide de cette méthode empirique, laquelle, employée avec soin, peut donner des résultats assez approximatifs.

E.-A. KERBAKER.

ENROULEMENTS DES DYNAMOS A COURANT CONTINU *(suite)*

C. — RELATION ENTRE LE NOMBRE DE CIRCUITS DÉRIVÉS ET LE NOMBRE DE PÔLES

Il résulte de l'étude qui précède que, dans le cas d'un enroulement ondulé, il faut toujours prendre

$$y_1 = y_2$$

Soit donc y le pas d'un tel enroulement ondulé

On a trouvé

$$y = \frac{N \pm 2p_1}{2p}$$

y) doit en outre être impair et premier avec $\frac{N}{2}$

En nous servant de ces conditions, nous allons établir une relation qui évite les tâtonnements lorsqu'on a un enroulement à réaliser. Nous considèrerons 2 cas :

1°) $\frac{N}{2p_1}$ *pair.*

Si $\frac{N}{2p_1}$ est pair et $= 2n$,
nous avons :

$$\frac{N}{2} = p_1 \times 2n$$

et :

$$y = \frac{2p_1(2n \pm 1)}{2p} = \frac{p_1}{p}(2n \pm 1)$$

Pour que y soit premier avec $\frac{N}{2}$, il est nécessaire (mais non suffisant) que tous les facteurs contenus dans p_1 disparaissent dans le quotient $\frac{p_1(2n \pm 1)}{p}$. Cela exige que l'on ait :

$p = p_1 K$, K étant un nombre impair qui divise $2n \pm 1$, (puisque y est entier).

2°) $\frac{N}{2p_1}$ *impair.*

Si $\frac{N}{2p_1}$ est impair et $= 2n + 1$,

nous avons :

$$\frac{N}{2} = p_1(2n+1)$$

$$y = \frac{2p_1(2n+1 \pm 1)}{2p} = \frac{p_1}{p}(2n+1 \pm 1)$$

En raisonnant comme dans le 1er cas, on en déduit :

$p = p_1 K'$, K' étant ici un nombre pair divisant le nombre pair $(2n + 1 \pm 1)$.

Inversement si nous voulons réaliser un enroulement comprenant $2p_1$ circuit, il faudra choisir $\frac{N}{2p_1}$ pair, si $p =$ multiple impair de p_1, et $\frac{N}{2p_1}$ impair, si $p =$ multiple pair de p_1.

D. — Résumé général

Pour obtenir un bon enroulement, y_1, y_2, N, $2p$, $2p_1$, doivent satisfaire aux conditions suivantes :

1°) *Conditions géométriques.*

N doit être pair, $\frac{N}{2}$ premier avec $\frac{y_1 + y_2}{2}$, y_1 et y_2 impairs.

2°) *Conditions électriques.*

$$y_1 = y_2 = \frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{N \pm 2p_1}{2p}$$

$$p = \text{multiple de } p_1$$

$$N = \begin{cases} \text{multiple pair de } 2p_1 \text{ si } p = \text{multiple impair de } p_1 \\ \text{multiple impair de } 2p_1 \text{ si } p = \text{multiple pair de } p_1 \end{cases}$$

* * *

Remarque. — En satisfaisant à toutes ces conditions, on obtient un enroulement qui résout d'une manière théoriquement parfaite le problème que nous nous sommes posé.

Les conditions géométriques doivent être rigoureusement observées. Si par suite de circonstances particulières, on est conduit à ne pas respecter entièrement les conditions électriques, il faut s'en rapprocher le plus possible.

En traçant l'épure développée de l'enroulement, on pourra se rendre compte des irrégularités dues à la non observation des conditions théoriques. Si ces irrégularités sont trop fortes, il sera nécessaire de modifier la solution, de manière à améliorer les résultats.

E. — Enroulements a deux couches

α — *Généralités.* — Les génératrices sont en général logées dans des encoches pratiquées sur le noyau. Pour ne pas réduire d'une façon exagérée la largeur des dents, on est parfois amené à placer 2 génératrices dans la même encoche. Il existe alors diverses manières de réaliser l'enroulement. Nous en indiquerons deux.

a) Les génératrices étant numérotées comme dans la figure ci-contre (fig. 8), on peut employer d'abord toutes les génératrices intérieures, puis passer à une génératrice extérieure, prendre toutes ces génératrices et fermer l'enroulement sur la génératrice origine intérieure O).

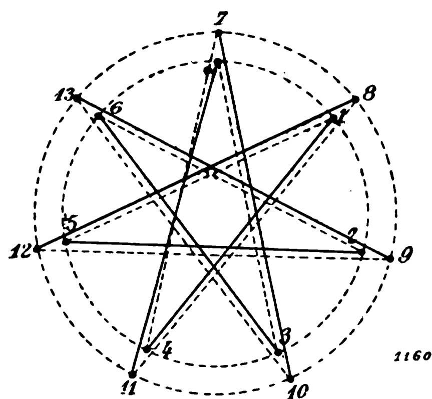


Fig. 8 (1)

Exemple — On a 14 génératrices, 0, 1, 2,.........., 13. On prend le pas = 3. On joint successivement 0 — 3 — 6 — 2 — 5 — 1 — 4; on passe de 4 à la génératrice extérieure 7 par la face arrière et l'on joint alors 7 — 10 — 13 — 9 — 12 — 8 — 11. On revient de 11 à 0 par la face avant. L'enroulement est donc bien fermé.

Cela revient, en somme, à faire 2 enroulements successifs, l'un avec les génératrices intérieures et l'autre avec les génératrices extérieures; seulement on réunit les 2 enroulements en un seul en joignant l'extrémité du 1er à l'origine du 2me et l'extrémité du 2me à l'origine du 1er.

Les conditions auxquelles doivent satisfaire y et N se déduisent des considérations précédentes. Comme chacun des enroulements contient $\frac{N}{2}$ génératrices, il faut et il suffit que y soit 1er avec $\frac{N}{2}$, mais ici y n'est pas forcément impair. Si en effet $\frac{N}{2}$ est impair, y étant pair, la $\left(\frac{N}{2}\right)^{me}$ jonction se fera sur la face arrière, mais on reviendra au point origine 0, par la N^{me} jonction sur la face avant et l'enroulement sera bien fermé.

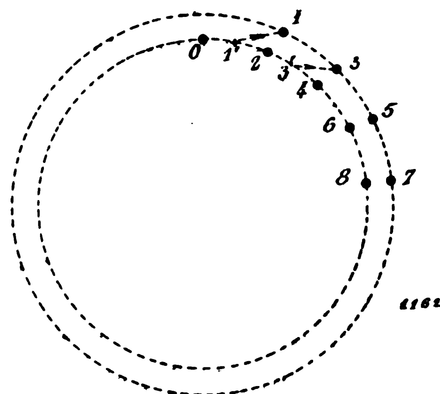


Fig. 9

b) On peut numéroter les génératrices en zigzag comme dans la figure ci-contre (fig. 9) et joindre les diverses génératrices comme on l'a fait pour l'enroulement à une couche.

Cela revient, en somme, à supposer que les génératrices 1', 3', 5'..... de ce dernier enroulement ont été transportées en 1, 3, 5...., dans les encoches correspondantes aux génératrices 2, 4, 6.....

(1) Mettre 0 au point marqué sur la ligne 7-11 de la figure 8.

Le pas y) doit donc ici remplir les mêmes conditions que dans les enroulements à 1 couche, c'est-à-dire y) impair et 1er avec $\frac{N}{2}$.

Remarque. — La 1re manière *a*) donne des cadres qui ne sont pas tous identiques, puisque certains d'entre eux contiennent des génératrices intérieures et des génératrices extérieures, tandis que les autres ne contiennent que des génératrices intérieures ou que des génératrices extérieures.

La 2me manière *b*) donne des cadres identiques, chacun d'eux étant formé d'une génératrice intérieure et d'une génératrice extérieure.

β. — Formules donnant le pas dans les enroulements à 2 couches

Nous avons étudié par la même méthode que celle employée pour l'enroulement ondulé à 1 couche, les conditions que doivent remplir y, N, $2p_1$, $2p$, au point de vue électrique. Nous nous bornerons, pour ne pas allonger outre mesure cette étude, à donner les résultats que nous avons obtenus.

a) Les jonctions sont faites d'après la 1re méthode

Le pas y) est donné par la formule : $y = \frac{N \pm 2p_1}{4p}$

N est le nombre total de génératrices, intérieures et extérieures.

y) est un nombre entier, 1er avec $\frac{N}{2}$; il peut être pair ou impair.

$2p_1$ = nombre de circuits dérivés. $2p$ = nombre de pôles.

On a entre p et p_1 les relations suivantes :

$p = p_1 K$ (K nombre entier quelconque) si $\frac{N}{2p_1}$ est impair.

$2p = p_1 K'$ (K' nombre impair) si $\frac{N}{2p_1}$ est pair.

Inversement : Si : $p = p_1K$, on devra prendre $\frac{N}{2p_1}$ impair. Si : $2p = p_1K'$ (K' impair), on devra prendre $\frac{N}{2p_1}$ pair.

Remarque. — On pourra avoir, si $\frac{N}{2p_1}$ est pair, $p_1 = 2p$, c'est-à-dire un nombre de circuits dérivés double du nombre de pôles.

b) Les jonctions se font d'après la deuxième méthode

Le pas y est donné par la formule : $y = \frac{N \pm 2p_1}{2p}$

y) doit être impair et premier avec $\frac{N}{2}$ $2p_1$ = nombre de circuits dérivés. $2p$ = nombre de pôles.

On a entre p_1 et p la relation : $p = p_1K$ (K impair) si $\frac{N}{2p_1}$ est pair, $p = p_1K'$ (K' pair) si $\frac{N}{2p_1}$ est impair.

Inversement : Si $p = p_1K$ (K impair) on prendra $\frac{N}{2p_1}$ pair. Si $p = p_1K'$ (K' pair) on prendra $\frac{N}{2p_1}$ impair.

Le nombre de génératrices utiles dans chaque circuit [1] est variable suivant les valeurs relatives de p et p_1.

Si $p = p_1$ on a $\frac{N}{2p_1}$, $p = 2p_1$ on a $\frac{N}{2p_1} - 1$, $p = 3p_1$ on a $\frac{N}{2p_1} - 2$ génératrices utiles par circuit.

.... etc.

Justin MARQUEYROL
Ingénieur des Arts et Manufactures.

(*A suivre*)

---

[1] Dans tous les enroulements étudiés jusqu'ici, après un circuit contenant n génératrices, toutes en tension, venait immédiatement un autre circuit contenant n génératrices, également toutes en tension, mais en opposition avec les génératrices du circuit précédent.

Dans le cas de l'enroulement à deux couches, il peut se faire qu'entre n génératrices toutes en tension et n génératrices en opposition avec celles-là, on trouve $2q$ génératrices, telles que chacune d'elles est en opposition avec la génératrice précédente et la génératrice suivante. Les f. e. m. de ces $2q$ génératrices se neutralisent 2 à 2. Les divers circuits obtenus dans un enroulement contiennent tous le même nombre n de génératrices toutes en tension, et sont séparés par un nombre variable de génératrices $2q$. Nous dirons que n est le nombre de génératrices utiles par circuit.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRANSMISSION & DISTRIBUTION

Un transport de force en Europe à 40.000 volts, exécuté entre Gromo et Nembro (val Seriana), pour la Maison Crespi et Cie, de Milan. par **L.-J. Sidler**, Ingénieur. (Schweizerische Elek. Zeitschrift. Août).

Le problème qui se posait à l'origine était le suivant. A Gromo (vallée du Serio), il y a 2000 chevaux de force disponibles ; un peu plus haut, on en trouvera 2000 autres ; pour le moment, on ne veut installer que la première centrale. L'énergie totale sera transportée de Gromo à Nembro par courants triphasés, au moyen d'une ou de deux lignes posées sur les mêmes poteaux ; pour commencer, on n'en installera qu'une seule. L'on veut se réserver la possibilité de transporter facilement l'énergie encore plus loin. Etant donné que toute l'énergie disponible peut trouver emploi, la perte en ligne doit être la plus petite possible ; cependant, il faut tenir compte de ce que l'on désire réaliser une grande économie dans les frais de première installation. Celle-ci doit être claire dans son ensemble et simple dans ses détails.

Telles étaient les conditions ; il faut voir comment l'on y a satisfait, et quelles ont été les raisons qui ont décidé la maison Brown, Boveri et Cie, de Baden, à adopter une tension aussi élevée pour un transport d'énergie de grandeur moyenne, à une distance relativement faible, car celle-ci n'est que de 32 km. en suivant la ligne de transport de force.

Le premier projet arrêté prévoyait : une tension de 30000 volts, une ligne composée de 3 fils en cuivre de 6,5 mm de diamètre, et une perte en ligne d'environ 4 % pour le transport de 2000 chevaux. Ces données correspondaient en effet, pour cette installation, à des conditions très avantageuses qu'on n'aurait pu réaliser avec une tension plus basse. Pour les 2000 chevaux à installer plus tard, on aurait monté sur les mêmes poteaux une deuxième ligne.

Cependant, le montage de cette deuxième ligne, sans interrompre le service de l'installation, aurait présenté certainement des difficultés, surtout pour le cas spécial qui nous occupe. En outre, si à première vue, on peut considérer l'une des lignes comme réserve de l'autre, cet avantage ne se manifeste guère en pratique que si les deux lignes sont montées sur deux rangées de poteaux distincts.

Cette dernière solution, écartée à cause des frais qu'elle entraînait, il était préférable de prévoir, dès le début, une ligne capable de transporter les 4000 chevaux. Comme d'autre part, on avait tout intérêt à ne pas avoir une perte d'énergie dans la ligne, supérieure à 4 ou 5 %, il ne restait qu'à augmenter la section du cuivre ou à élever la tension à 40000 volts.

Augmenter la section de cuivre, occasionnait des frais supplémentaires assez élevés. Avoir une tension de 40 000 volts présentait tout autant de sécurité pour la bonne marche de l'usine qu'une tension de 30 000 volts, tandis que les frais supplémentaires causés par cette élévation de tension étaient de beaucoup inférieurs à ceux causés par une augmentation de la section du cuivre. Pour ces raisons, l'on se décida à adopter la tension de 40 000 volts.

Dispositions générales de la centrale.

Afin d'avoir une réserve, on a installé 3 unités génératrices de 1000 chevaux chacune, et deux machines excitatrices de 25 Kw (25 poncelets) chaque.

Chaque générateur de 1000 chevaux (750 poncelets) relié directement à la turbine par un accouplement Zodel, travaille sur le transformateur correspondant de 850 K. V. A. sans l'interposition de barres collectrices : celui-ci reçoit le courant fourni à 4000 volts par le générateur, le transforme à 40 000 volts, et l'envoie pour la marche en parallèle sur les barres collectrices. Les interrupteurs nécessaires pour la marche en parallèle de chaque groupe se trouvent donc dans le circuit à 40 000 volts des transformateurs.

Cette disposition déjà utilisée dans l'installation à 20 000 volts de Côme : — *former pour chaque unité de puissance un groupe hydro-électrique-transformateur* — est la caractéristique d'une étape remarquable dans la construction des centrales électriques. Il y a quelques années, le moteur mécanique était relié au générateur électrique par des courroies, câbles, etc... Plus

tard, pour simplifier l'installation mécanique et gagner de la place, on accouplera directement, malgré les prophètes de malheur qui prédisaient à ce genre d'installation un insuccès complet, le moteur mécanique et le générateur. La partie électrique, elle, restait tout aussi compliquée. Et maintenant, la construction des machines a fait de tels progrès, l'on est si sûr de leur bonne marche que, pour simplifier l'installation, on ose former de 3 machines bien distinctes un tout complet.

En laissant les barres collectrices entre générateur et transformateur de côté, on réduit de moitié le nombre des appareils de mesure nécessaires pour le contrôle et le service de l'usine. Les transformateurs de courant et de tension pour les ampèremètres et voltmètres, ainsi que les relais pour la mise en marche des interrupteurs automatiques, sont branchés sur la basse tension (4000 volts). En tenant compte du rapport de transformation des transformateurs élévateurs de tension (1 : 10), les ampèremètres et voltmètres mesurent simultanément le courant, la tension, et dans la marche en parallèle, la phase du circuit à 4000, et du circuit à 40 000 volts. Un autre avantage de cette disposition est que les transformateurs de mesure sont bien meilleur marché pour 4000 que pour 40 000 volts.

Pour chaque groupe générateur se trouvent, entre les interrupteurs à haute tension pour 40 000 volts et les barres collectrices de courant, des pièces de connexion amovibles qui permettent de mettre les interrupteurs hors tension.

L'interrupteur à haute tension dans l'huile est à déclenchement automatique ; il peut être actionné à la main, électriquement ou par un relais bipolaire à maxima, branché sur les transformateurs de courant, du côté à 4000 volts des transformateurs.

Depuis les barres collectrices de courant part une seule ligne. On n'a pas prévu de plombs fusibles pour les circuits d'excitation. Le courant pour les aimants de déclenchement des interrupteurs à haute tension est pris aux barres collectrices d'excitation.

DESCRIPTION DE LA CENTRALE :

Partie électrique :

Générateurs. Les alternateurs sont d'un modèle normal et développent chacun 1000 chevaux ; ils sont capables d'engendrer des courants triphasés sous une tension de 4000 volts avec une fréquence de 50 périodes par seconde et cos $\varphi = 0,8$; ils font 500 tours par minute et possèdent 12 pôles ; ils sont à champ inducteur tournant et connectés en étoile. Leur rendement, excitation comprise, est garanti de 93 % à pleine charge et de 89,5 % à moitié charge.

La chute de tension atteint

avec cos $\varphi = 1$ 7 %
avec cos $\varphi = 0,8$ 20 %

La roue magnétique, les pôles et l'épanouissement polaire sont d'une seule pièce en acier coulé. L'induit possède des bobines en fil façonné. Le poids de l'alternateur est de 13 tonnes, soit 13 kilogs par cheval effectif.

Excitatrices. Chaque génératrice de 25 Kw. du type 0/6 à 6 pôles en feuillard, tourne à 800 tours par minute et fournit 217 ampères sous 115 volts. La carcasse est en acier coulé. Ces machines possèdent des enroulements à tambour avec armature dentée.

Le rendement garanti est de 89 % à pleine charge, et de 87,5 % à moitié charge.

Transformateurs. Leur puissance est de 850 K. V. A. à 50 périodes avec le rapport de transformation 4000/40 000 volts. Leur rendement pour cos $\varphi = 1$ atteint à pleine charge 97,8 % alors que le rendement garanti était de 97 % ; la chute de tension pour cos $\varphi = 1$ et à pleine charge est de 0,76 % et pour cos $\varphi = 0,7$ et à pleine charge de 2,6 %.

L'isolation entre les enroulements primaire et secondaire a été essayée avec une tension de 67 000 volts. Les dimensions d'encombrement de ces transformateurs sont les suivantes :

Longueur 1. 600 mm
Largeur 1. 360 ,,
Hauteur 2. 180 ,,

Ce sont des transformateurs à noyaux [illegible] d'huile, avec refroidissement à eau ; chacun de ces transformateurs emploie 18 litres d'eau par minute. Les noyaux forment 3 colonnes verticales, situées dans un même plan, reliées à leurs extrémités supérieures et inférieures par des culasses en feuillard doux. Les enroulements primaire et secondaire forment des cylindres concentriques séparés l'un de l'autre par un manteau isolant. Pour plus de sûreté, l'enroulement à haute tension est subdivisé en une série de

petites bobines. La tension de chacune de ces bobines est très petite et atteint seulement 300 volts.

Tableaux de manœuvre et de distribution. Quoique le schéma soit des plus simples, surtout pour ce qui concerne les circuits à 40 000 volts, l'étude de cette installation fut faite avec un soin extrême, afin d'éviter toute surprise désagréable, et d'avoir dès le commencement une installation fonctionnant sans accrocs.

En première ligne, l'isolation des conducteurs entre eux, et entre ceux-ci et la terre devait être suffisante, les distances devaient être assez grandes et les canalisations disposées de telle façon que le danger des décharges et de formation d'arcs électriques entre conducteurs de polarité différente fût complètement écarté.

Un bâtiment bien dimensionné, adossé à la centrale proprement dite, avait été réservé dès le commencement pour les transformateurs et l'installation des appareils de manœuvre. Ce bâtiment qui comprend un sous-sol et 3 étages où l'on dispose d'une surface de plancher de 10 × 7 m², permettait une disposition générale très favorable que voici :

Le sous-sol est divisé en 2 parties : la première est située à 1,2 m. au-dessous du niveau de la salle des machines : on y trouve les rhéostats de réglage et les échafaudages pour les appareils des circuits à 4000 volts. Sous le plancher se trouvent les canalisations arrivant de la salle des machines. La deuxième, située à 2,7 m. au-dessous du niveau de la salle des machines, contient les transformateurs élévateurs de tension.

Le premier étage est lui aussi divisé en deux parties : dans la première, ouvrant sur la salle des machines, se trouvent les tableaux de distribution et de manœuvre avec les appareils de mesure et les volants de commande ; dans la deuxième partie, se trouvent les interrupteurs automatiques à haute tension et les 3 transformateurs de courant pour la ligne de départ.

Le deuxième étage est réservé aux barres collectrices et au transformateur de tension branché sur ces barres. Au troisième étage se trouvent les parafoudres et la sortie de la ligne.

Les conduites à 4000 volts et celles pour l'excitation des générateurs ainsi que les conduites des excitatrices se trouvent dans un canal commun qui, passant sous les rhéostats de réglage et les échafaudages des appareils à 4000 volts, les conduit dans le sous-sol.

On a prévu pour chaque générateur un échafaudage en fer pour appareils. Chacun de ces échafaudages, adossé à la muraille mitoyenne entre la première et la deuxième partie du sous-sol comprend : 3 coupe-circuits fusibles à haute tension, unipolaires, avec cornets, pour le courant des générateurs, un transformateur de tension avec coupe-circuits fusibles et 2 transformateurs de courant.

L'échafaudage est construit tout en fer, recouvert sur les parois latérales de tôle bosselée, tandis que devant, 2 treillages métalliques amovibles permettent un remplacement et une surveillance faciles des fusibles. De derrière, partent à travers le mur mitoyen, pour aboutir dans l'espace réservé aux transformateurs, 3 conduites à haute tension enfermées chacune dans un tuyau en verre épais passant à travers un tuyau en argile muré dans la bâtisse.

Pour la disposition des appareils fonctionnant à 40 000 volts, on prit les barres collectrices comme point de départ. En première ligne, on rendit impossible la formation d'un arc entre barres de différente polarité en interposant entre elles une paroi de matériaux incombustibles. Ceci a été réalisé en plaçant les trois barres sur des isolateurs dans 3 canaux parallèles en maçonnerie, de telle façon que chaque barre est séparée de sa voisine par un mur de 120 mm d'épaisseur.

On soigna aussi particulièrement l'isolation entre les barres et la terre. Les isolateurs d'un modèle normal ne suffisaient plus : on créa un nouveau type.

Cet isolateur est composé de 3 pièces différentes qui sont cuites séparément, puis émaillées ensemble.

Les isolateurs sont munis de 4 profondes rainures. Chaque isolateur fut soumis avant sa livraison à une tension de 100 000 volts.

Au-dessous des barres collectrices, se trouvent au premier étage les interrupteurs à haute tension. Pour ne pas obtenir de trop lourdes pièces, on employa pour chaque conduite triphasée 3 interrupteurs dans l'huile, unipolaires, fonctionnant simultanément.

Pour obtenir une disposition analogue à celle des barres collectrices, chacun de ces interrupteurs unipolaires fut séparé de l'autre par une

paroi en maçonnerie de 120 mm d'épaisseur; à cette paroi sont fixés les supports des interrupteurs. De cette façon, chaque appareil se trouve dans un réduit, à l'épreuve du feu, de 600mm de largeur. A la partie supérieure de chaque réduit se trouve une ouverture par laquelle se fait la jonction entre l'interrupteur et les barres collectrices. A cet endroit, se trouvent aussi les pièces de connexion amovibles qui permettent de mettre tout le réduit correspondant hors-tension lorsqu'on veut le nettoyer ou vérifier les appareils. Ces pièces de connexion amovibles se composent d'une barre de cuivre avec goupilles d'arrêt, mobile dans deux coulisses, montées sur isolateurs à haute tension. Au moyen d'une canne en bois qui porte à sa partie supérieure un isolateur à haute tension, on peut faire sortir les barres de cuivre des coulisses supérieures, et de cette manière fermer ou ouvrir les circuits. Pour plus de sécurité, le support au moyen duquel l'isolateur est fixé sur la canne en bois est mis à la terre par une petite chaînette en métal. On peut donc de cette façon, lorsque les interrupteurs sont ouverts, manœuvrer les pièces de connexion amovibles absolument sans aucun danger.

L'interrupteur unipolaire est d'un type normal; construit pour cette tension de 40.000 volts, il présente des particularités intéressantes que nous allons étudier en détail.

On manœuvre l'interrupteur à distance par un mouvement de rotation. Cette solution est de beaucoup la plus élégante et la meilleure pour un appareil mécanique de ce genre; en outre, l'endroit où l'on veut placer l'interrupteur peut être choisi beaucoup plus indépendant de celui où se trouvent les tableaux de manœuvre, qu'avec tout autre mouvement de commande. L'interruption de courant est multiple. Les contacts de rupture ainsi que toutes les parties métalliques sous tension se trouvent plongés dans un bain d'huile, de sorte que le niveau supérieur de l'huile ne touche que des matériaux isolants ou des parties d'appareils mises à la terre.

Les réservoirs à huile sont très facilement démontables et l'on peut ainsi vérifier commodément les contacts. Les parties conductrices de courant ont été solidement construites. Pour éviter la confusion des contacts principaux, on a prévu de petits contacts entre lesquels l'étincelle doit se produire et qui sont facilent interchangeables. Pour éteindre plus sûrement l'étincelle de rupture, on a construit les contacts de telle façon qu'au moment de la rupture, l'huile est projetée avec force contre ceux-ci.

Par une bonne disposition des contacts de l'interrupteur à 40.000 volts, le courant est interrompu 6 fois simultanément pour chaque conducteur. Comme la course décrite par les contacts est d'environ 8cm, la longueur totale destinée à l'interruption est d'environ 35cm en tenant compte de la hauteur des contacts. Cette distance dans l'huile est certainement bien suffisante pour une tension de 40.000 volts. En outre, il ne faut pas oublier que pour un circuit il y a deux conducteurs qui entrent en considération; cela fait donc que le courant est interrompu 12 fois simultanément par phase. Cet interrupteur qui a été exécuté unipolaire pour cette installation, est aussi construit tripolaire, mais les réservoirs à huile sont toujours distincts pour chaque phase.

Par un mouvement circulaire qui met en jeu un système à manivelle, les contacts sont fermés tandis que les ressorts des interrupteurs fixés à des coulisseaux sont tendus. Si l'on tourne la manivelle au-delà du point mort, l'interrupteur reste de lui-même fermé, et cette disposition est employée lorsque l'interrupteur est toujours manœuvré à la main. Lorsque le déclenchement de l'interrupteur doit se produire automatiquement, la manivelle ne doit pas arriver tout à fait jusqu'au point mort, et l'interrupteur est maintenu fermé par une came et un cliquet. Si l'on soulève le cliquet, la tension des ressorts provoque le déclenchement de l'interrupteur. Dans les petits modèles, ce soulevage du cliquet est effectué directement par un électro-aimant. Dans le cas qui nous occupe, où les 3 interrupteurs doivent être déclenchés simultanément par un arbre commun de déclenchement, ce travail est effectué par la chute d'un poids, chute provoquée par un électro-aimant. Lorsqu'on ferme l'interrupteur, le poids est ramené en même temps à sa position initiale et se tient prêt à accomplir une nouvelle chute. Un arbre de manœuvre, porté par des coussinets fixés à la maçonnerie, est commun aux 3 interrupteurs. Cet arbre de manœuvre agit sur les arbres des interrupteurs au moyen de roues dentées et de chaînes.

Un volant de commande fixé aux tableaux de distribution met en mouvement cet arbre de manœuvre au moyen de câbles, roulettes de support, chaînes et roues dentées.

Par la force emmagasinée dans les ressorts des interrupteurs, l'arbre de commande est retourné seul lorsque le déclenchement des interrupteurs se produit, tandis que le système de commande à distance est ramené à vide à sa position initiale par l'homme de service aux tableaux, immédiatement après que l'on a fermé l'interrupteur. Ce résultat est atteint de la façon suivante : la roue dentée de l'arbre de manœuvre n'est pas clavetée sur l'arbre, mais peut tourner librement : elle porte un ergot qui glisse dans un coulisseau semi-circulaire pratiqué dans une roue à câble fixée sur l'arbre de manœuvre. Lorsqu'on tourne la roue dentée dans la direction des aiguilles d'une montre pour fermer les contacts des interrupteurs, ce mouvement est transmis par l'ergot et la roue à câble à l'arbre de manœuvre, tandis que si la roue dentée tourne dans la direction contraire, l'ergot tourne à vide dans le coulisseau. La roue à câble suit forcément les mouvements de l'arbre de commande et par conséquent ceux des arbres des interrupteurs : elle est reliée par un câble fin spécial à une aiguille située sur les tableaux de distribution concentriquement au volant de manœuvre et indiquant à chaque instant, indépendamment de ce dernier, la position de l'interrupteur. Comme il a été dit plus haut, le volant de manœuvre et avec lui, tout le dispositif de commande à distance, doit être ramené à la position initale aussitôt après que l'interrupteur a été fermé. Une inscription ,, Volant à retourner en arrière'' apparaissant lorsqu'on ferme l'interrupteur, rappelle cette prescription au préposé aux tableaux de distribution. Si l'on oubliait de le faire, la force emmagasinée dans les ressorts des interrupteurs suffirait, lors du déclenchement de ces derniers, à ramener tout le dispositif de commande à sa position initiale, comme des essais l'ont démontré.

Le déclenchement des interrupteurs peut, s'il n'est pas produit par le relais à maxima, avoir lieu à la main, au moyen d'une poignée que l'on tire et qui fait tourner l'arbre de déclenchement.

En outre, par un contact à pression, on peut fermer le circuit de l'électro-aimant, ce qui provoque la chute du poids et par là le déclenchement des interrupteurs.

Le relais à maxima qui doit effectuer le déclenchement des interrupteurs au moyen de l'électro-aimant est bâti d'après le principe de Ferraris. Un disque léger en aluminium tourne entre les pôles d'un électro-aimant à courant monophasé, branché sur les bornes secondaires d'un transformateur de courant intercalé dans le circuit principal. Le torque produit par les courants de Foucault qui se développent à l'intérieur de ce disque, est équilibré par un petit poids suspendu à un fil de soie. Sitôt qu'une surcharge se produit, l'équilibre est rompu, le fil de soie s'enroule sur un petit tambour et le poids, arrivé au bout de sa course, ferme le circuit de l'électro-aimant. Par une plus ou moins grande longueur de fil de soie, on règle de la façon la plus simple le temps nécessaire correspondant à une surchage donnée, pour fermer le circuit de l'électro. Il en ressort que l'appareil n'est pas seulement un appareil à maxima, mais aussi un appareil à temps. L'interruption ne se produira dans le cas de surchages faibles que si celles-ci duraient assez longtemps pour cela, et devenaient, par ce fait, dangereuses pour les machines, tandis que dans le cas de fortes surcharges, l'interruption se produira rapidement. Ce relais est construit normalement unipolaire, mais on peut en réunir 2 ou 3 à un appareil bi ou tripolaire.

Les tableaux de manœuvre et de distribution ont la forme de pupitres avec une certaine inclinaison dans la direction de celui qui les surveille ; la table est en fonte et les appareils de mesure sont encastrés dans cette table. Les tableaux sont placés sur une galerie surélevée, dans l'ouverture donnant du bâtiment des appareils dans la salle des machines, de telle façon que le préposé aux appareils puisse facilement surveiller, et ses appareils, et les machines. Les tableaux de manœuvre ne contiennent que des appareils et des pièces traversées par du courant à basse tension. Toute la construction est divisée en 5 panneaux, 3 pour les générateurs, 1 pour la ligne de départ et 1 pour l'excitation.

Chacun des panneaux pour les générateurs et la ligne de départ possède 2 volants de commande, l'un pour la manœuvre des interrupteurs à huile à haute tension, l'autre pour le réglage de la tension. Les volants de manœuvre des régulateurs de tension des 3 générateurs peuvent être accouplés au moyen d'un levier, de sorte que de chacun des panneaux pour les générateurs, on peut régler simultanément les 3 unités. Sous chacun de ces volants, se trouve enfermé dans la paroi : pour chaque panneau des générateurs, un relais bipolaire à maxima, et pour le panneau de la ligne de

départ, un relais tripolaire à maxima. Les contacts à pression pour le déclenchement électrique des interrupteurs à haute tension, les lampes de phase et les interrupteurs pour celles-ci se trouvent montés sur la table ; la poignée pour le déclenchement mécanique des interrupteurs est montée dans le volant de manœuvre. Le tableau pour l'excitation comprend 2 volants pour le réglage du shunt des génératrices et 2 leviers doubles pour les interrupteurs bipolaires.

Toute la construction des tableaux de distribution est en fer: les parois sont formées de tôle bosselée.

Le voltmètre général est monté sur une console au-dessus du milieu des tableaux de distribution.

Les rhéostats de réglage pour les champs des générateurs se trouvent dans le sous-sol, directement au-dessous des tableaux de distribution, et peuvent être contrôlés sans aucun danger durant la marche de l'usine.

Au troisième étage du bâtiment des appareils se trouvent les parafoudres, chaque phase séparée de l'autre par un mur. Ces parafoudres sont du type bien connu à rouleaux de Würtz, et isolés plusieurs fois de la terre au moyen d'isolateurs en porcelaine.

A la même hauteur que les parafoudres se trouvent les départs de la ligne à haute tension. Chaque fil sort de l'usine par une fenêtre à travers un trou pratiqué dans les vitres. A cet endroit le fil passe dans un tube de verre à parois épaisses: celui-ci est maintenu dans sa position normale par deux petits entonnoirs en cuivre soudés au fil. La distance minima entre chaque fil de départ et tout corps non isolé est de 250 mm.

LIGNE

La ligne est longue d'environ 32 km. Elle suit plus ou moins le cours de la rivière Serio dans la « Val Seriana » et part de Gromo pour aboutir à Nembro, aux usines pour le traitement du coton, de la Maison Crespi et Cie de Milan.

Elle a été calculée pour transporter l'énergie totale de 4000 chevaux (3000 poncelets), avec une perte maxima de 5 $^0/_0$. Elle est constituée par 3 fils de cuivre de 6,5 mm. de diamètre, montés sur isolateurs Delta de la fabrique de porcelaine Hermsdorf.

Ces isolateurs, protégés par brevet, d'un modèle nouveau étudié spécialement pour cette installation, présentent tous les avantages des isolateurs Delta ordinaires. En outre, on a trouvé par des essais rigoureux :

Que l'étincelle sautait par dessus l'isolateur à la tension de 89000 volts, dans une atmosphère dont l'humidité relative était de 62 $^0/_0$,

— que l'étincelle sautait par dessus l'isolateur à la tension d'environ 54000 volts, lorsque celui-ci était soumis à une pluie artificielle intense, déposant sur le sol une couche d'eau dont la hauteur atteignait 35 à 40 mm. par minute,

— que le pouvoir isolant de chaque isolateur atteignait dans une atmosphère sèche plusieurs millions de mégohms,

— que le pouvoir isolant de chaque isolateur atteignait dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau (humidité relative de 40—50 $^0/_0$) quelques dizaines de mille de mégohms.

Chaque isolateur fut soumis avant sa livraison à une tension de 80000 volts. Cette épreuve assure une sécurité bienfaisante pour l'isolation de la ligne.

Les isolateurs sont fixés sur des poteaux et traverses en bois. En général, la ligne montée sur un seul poteau forme un triangle de 850 mm. de côté. Les poteaux normaux ont une hauteur de 8 m. au-dessus du sol (9,0 m. pour les croisements). Les isolateurs inférieurs sont à une hauteur de 7,5 m. au-dessus du sol (8,5 m. pour les croisements). Dans les cas de grandes portées et d'angles vifs, on a mis deux poteaux et les isolateurs sont fixés, les 3 à la même hauteur, sur une seule traverse à la distance l'un de l'autre de 1000 mm. La plus grande portée a 120 m. et l'angle le plus aigu a 145°. A San Carlo, la ligne doit croiser une ligne monophasée à 2000 volts, et à Albino, elle doit croiser une ligne et un canal.

La distance moyenne des poteaux est de 40 m.

A 1,5. m au-dessous des isolateurs à haute tension se trouve la ligne du téléphone reliant la centrale à la station transformatrice. Elle est formée de 2 fils en bronze au silicium de 3 mm. de diamètre, montés sur isolateurs ordinaires.

STATION TRANSFORMATRICE DE NEMBRO

A Nembro se trouve la station transformatrice. La ligne, à son arrivée, doit présenter une tension de 38000 volts et d'après cette tension se réglera à Gromo le voltage des groupes hydro-électriques transformateurs.

Transformateurs. Cette station transformatrice ne contient, pour le moment, que 2 transformateurs

****

triphasés de 500 K. V. A., du même type, quoique plus petits, que ceux de la Centrale de Gromo. On a réservé la place pour un troisième transformateur.

Leur puissance est de 500 K. V. A., à 50 périodes avec le rapport de transformation 38.000/500 volts.

Leur rendement pour $\cos \varphi = 1$ et à pleine charge atteint 97,6 %; le rendement garanti était de 96,8 %; la chute de la tension pour $\cos \varphi = 1$ et à pleine charge est de 0,8 %, et pour $\cos \varphi = 0,7$ et à pleine charge de 2,9 %.

L'isolement entre les enroulements primaire et secondaire a été essayé avec une tension de 57000 volts.

Les dimensions d'encombrement de ces transformateurs sont les suivantes :

Longueur	1600^{mm}
Largeur	1155 »
Hauteur	2005 »

Il faut 13 litres d'eau par minute pour le refroidissement de chacun de ces transformateurs.

Le schéma de cette station, est, dans ses grandes lignes, pour le circuit à haute tension, le même que celui de la station de Gromo.

Un interrupteur de secours, tripolaire, monté sur poteaux en bois est placé à l'extérieur du bâtiment, et l'on peut, au moyen de ce dernier, mettre toute la station secondaire hors circuit. La construction de cet interrupteur à cornes est connue. Comme cet interrupteur est monté à l'air libre, il pourrait se faire que, la station secondaire hors circuit, des décharges de courant se produisent entre la conduite sous tension et la conduite entrant dans la station, soit parce qu'un corps étranger, oiseau ou autre, se trouve entre les cornes de l'interrupteur, soit parce qu'un temps humide provoque ces décharges. Pour éviter tout danger de cette nature, on a monté sur l'interrupteur 3 contacts de telle façon que, l'interrupteur ouvert, ces contacts mettent les 3 lignes pénétrant dans la station secondaire en court-circuit entre elles et en communication avec la terre.

Depuis son entrée, dans la station avec le même dispositif qu'au départ, à Gromo, la ligne traverse les parafoudres et aboutit aux barres collectrices primaires à 38 000 volts. De ces barres collectrices partent les conduites allant aux transformateurs. Sur chacune de celles-ci sont branchées 3 pièces de connexion amovibles unipolaires et 3 interrupteurs dans l'huile automatiques, à haute tension, unipolaires. Dans le circuit secondaire de chacun des transformateurs se trouvent des pièces de connexion amovibles tripolaires et deux transformateurs de courant dont l'un alimente le relais à maxima et l'ampèremètre, et l'autre, le relais seul. Les transformateurs travaillent sur des barres collectrices à 500 volts d'où partent des feeders avec interrupteur et coupe-circuits fusibles. Les moteurs travaillent sous la tension de 500 volts. Un grand voltmètre de station est branché sur les barres collectrices à 500 volts. A. S.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

La détermination de transmetteurs de télégraphie sans fil. A. Slaby. — Electrot. Zeitschrift, 18 août.

Le développement de la télégraphie sans fil a atteint en ce moment un point critique. Son utilité pour la marine de guerre est hors de doute ; dans la guerre russo-japonaise elle a souvent joué un rôle décisif. Mais il en est autrement de son application générale à la marine commerciale. Abstraction faite de quelques grandes lignes de bateaux à vapeur qui peuvent se payer le luxe des nouveautés techniques, l'emploi de la télégraphie sans fil est resté très limité ; les raisons de ce peu de développement sont en partie d'ordre économique, en partie de nature technique.

Parmi ces dernières nous ne comptons pas les défauts que présente la télégraphie sans fil au point de vue de la portée et de la sécurité des communications.

Les perturbations que peuvent amener les influences atmosphériques résident dans la nature même du milieu, et ne pourront jamais être entièrement évitées, mais on peut trouver des dispositifs capables de n'être influencés que par des perturbations atmosphériques peu fréquentes. Le degré de sécurité auquel il est possible d'attendre est purement et simplement une question de prix.

Une question technique très importante pour la télégraphie sans fil est la possibilité de déterminer, sans craindre les perturbations, l'accord des appareils. La première expérience de ce genre couronnée de succès est celle que nous avons faite, en décembre 1900, avec le comte Arco et dans laquelle une antenne unique a permis de recevoir dans deux appareils différents les télé-

grammes émis par deux transmetteurs. Cette expérience à montré la possibilité de résoudre la question pour les postes stationnaires en employant des longueurs d'ondes très différentes. Plusieurs expérimentateurs ont pu, dans des conditions favorables, obtenir de bons résultats dans cette voie, et l'on s'approche peu à peu du but à atteindre.

La solution du problème dépend aussi bien du transmetteur que du récepteur. La présente étude est relative au premier et est consacrée à l'examen les moyens propres à obtenir des oscillations simples [1] d'une longueur d'onde exactement connue, et les méthodes permettant la production rapide et sûre d'autres longueurs d'onde sans modification de l'antenne considérée comme donnée.

Pour atteindre le but fixé, il est nécessaire, avant tout, de produire des oscillations simples, ce que ne réalisent pas les montages transmetteurs actuellement employés.

Les recherches sont principalement expérimentales, mais doivent s'appuyer sur des relations fondamentales : elles ont fait un grand progrès lorsque nous avons réussi, au moyen de *l'échelle de multiplication,* à réaliser un instrument simple et sûr pour la mesure des longueurs d'onde. Les mesures qui suivent ont été faites avec cet instrument et peuvent être prises comme exemple de son emploi pratique.

1° Transmetteur a excitation directe

Les transmetteurs actuellement employés en télégraphie sans fil dérivent tous du transmetteur Marconi ; ils ne s'en distinguent que par le mode d'excitation. Nous allons d'abord traiter le cas des oscillations simples produites par le système primitif de Marconi (fig. 1), et nous tirerons quelques conclusions applicables à toutes les formes de transmetteur. Avant cela il est nécessaire de définir nettement la notion de capacité et de self induction d'un fil parcouru par des oscillations rapides.

§ 1. — Capacité X self-induction

On définit la capacité d'un fil de longueur l, regardé comme faisant partie d'un fil infiniment long, par le rapport de sa charge à son potentiel :

$$C = \frac{Q}{V}$$

En désignant par σ la charge spécifique par unité de surface, par r le rayon de la section, on a

$$Q = 2r\pi l\sigma$$

On décompose (fig. 2) la surface extérieure en éléments (bagues, de grandeur $2r\pi dx$ et l'on forme le potentiel par rapport au centre O de

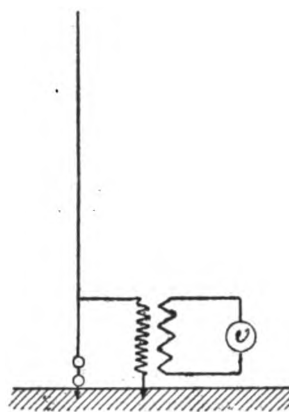


Fig. 1

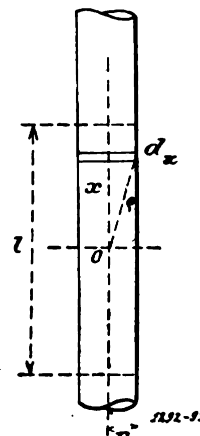


Fig. 2

l'axe, car ce dernier a le même potentiel que la surface extérieure :

$$dV = \frac{2r\pi dx\sigma}{\rho}$$

Le potentiel de l'enveloppe est

$$V = 2\int_0^{\frac{l}{2}} \frac{2r\pi\sigma dx}{\sqrt{r^2+x^2}} = 4r\pi\sigma$$

$$\left[\log_{nat}\frac{l}{r} + \sqrt{r^2+\frac{l^2}{4}} - \log_{nat} r\right]$$

En admetant que l soit très grand par rapport à r, on a

$$V = 2\frac{Q}{l}\log_{nat}\frac{l}{r}$$

et

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{l}{2\log_{nat}\frac{l}{r}}$$

Ce calcul suppose que la densité et la tension sont constantes sur toute la surface extérieure. Dans le transmetteur Marconi cela n'a pas lieu ; la charge se répartit bien plutôt depuis l'étincelle

(1) Simple traduisant le mot eintönig qui littéralement devrait être exprimé par le mot monotonique

jusqu'à l'extrémité du fil suivant une loi harmonique. La formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{CL}$$

suppose de plus que le fil est dépourvu en lui-même de capacité, et que la capacité C est localisée en un point du système oscillant.

Si q (fig. 3 désigne la charge spécifique par unité de longueur en un point quelconque, q_0 la

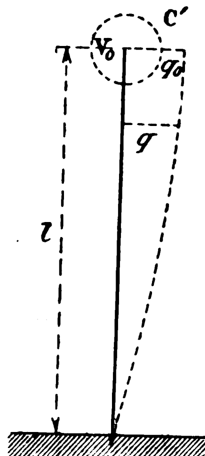


Fig. 3

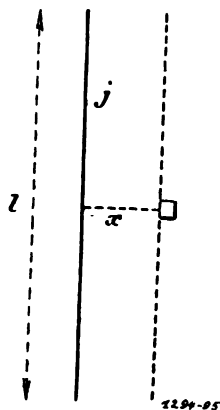


Fig. 4

valeur maxima à l'extrémité du fil, la charge totale du fil pour une répartition harmonique est

$$M(q)\, l = \frac{2}{\pi} q_0 l$$

Si nous supposons cette charge concentrée à l'extrémité du fil, il faut admettre en ce point une capacité :

$$C' = \frac{\frac{2}{\pi} q_0 l}{V_0},$$

V_0 étant la plus grande tension de surface admissible.

La capacité du fil, en admettant l'égale répartition de la charge, était :

$$C = \frac{q_0 l}{V_0} = \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{r}{l}}$$

Donc on a

$$C' = \frac{2}{\pi} C = \frac{2}{\pi} \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{r}{l}}$$

Pour la charge, il faut envisager non pas la tension imprimée, mais la tension de surface maxima admissible car, dès que cette dernière est dépassée, c'est-à-dire dès que la rigidité diélectrique du milieu environnant est surmontée, la charge s'écoule.

Soient V le potentiel de charge, V_0 la tension de surface maxima, la charge utile pour l'oscillation est

$$Q = VC = V_0 C'$$

d'où

$$\frac{V}{V_0} = \frac{C'}{C} =$$

La tension de charge maxima à employer ne doit donc être que les 2/3 environ de la tension maxima de surface. Chaque excès de tension produit des pertes qui, dans l'obscurité se traduisent par une radiation visible. Si l'on observe dans l'obscurité un fil en charge dont la tension de surface maxima n'est pas dépassée, il est obscur, mais aussitôt que la décharge se produit, l'extrémité libre du fil s'illumine.

Cette remarque conduit à une conclusion importante. Pour l'action à distance d'un conducteur, l'énergie des oscillations est au plus égale à l'énergie de charge. Si V_0 désigne la tension maxima admissible, l'énergie de charge est :

$$A = \frac{V_0^2 C'}{2}$$

Celle-ci dépend purement et simplement de la capacité et de la tension admissible, et non pas la tension de charge. *La quantité d'énergie qu'une antenne déterminée peut rendre utilisable n'est donc pas illimitée.*

Il n'existe que deux moyens pour augmenter l'énergie absorbée par une antenne de transmission. Le premier moyen consiste à recouvrir le fil d'un isolant de plus grande rigidité diélectrique.

Un fil de cuivre de 1 m/m de diamètre ayant une épaisseur isolante de 0,5 m/m de caoutchouc donne par exemple, si l'on enlève l'isolant, une capacité d'environ 14 % plus faible.

De plus il est connu que par un temps brumeux et humide, l'action à distance d'un fil nu de Marconi est plus grande que pour un air sec. Il est vrai que l'ionisation de l'air, qui, dans le dernier cas, est toujours plus grande, joue un rôle défavorable, mais l'augmentation de la constante diélectrique de l'air humide qui augmente le pouvoir utile du fil, est aussi une raison de l'accroissement d'action. Dans une expérience où nous avions constaté un accroissement momentané très

marqué de la sensibilité du récepteur, nous nous sommes aperçus que le transmetteur, placé à côté d'une usine où l'on avait éteint pendant quelques minutes une grande quantité de scories, avait été entouré à ce moment d'un nuage épais de vapeur.

Un second moyen pour accroître l'énergie mise en jeu par le transmetteur, est d'augmenter la capacité par l'emploi d'antennes multiples à fils branchés en parallèle et disposés en forme de harpe, ou de cône, ou par l'adjonction de capacités au sommet de l'antenne. Comme il en résulte une modification sensible de la longueur d'onde, nous discuterons ce cas en détail plus loin.

Le coefficient de self induction d'un fil parcouru dans toutes les parties par le même courant peut être défini par le flux que produit l'unité d'intensité de courant. Un courant rectiligne J (fig. 4) produit un champ magnétique dont les lignes de force sont circulaires et dont l'intensité à la distance x est, d'après par la loi de Biot et Savart,

$$\frac{2J}{x}$$

Si l'on fait passer un plan par le fil de longueur l et ce point, un certain nombre de lignes de force passent par la surface élémentaire $\frac{2Jldx}{x}$.

Le nombre total des lignes de force produites par un courant unité est

$$L = 2l \int_{x=r}^{x=\infty} \frac{dx}{x}$$

Mais le courant dans une antenne Marconi n'est pas le même dans toutes les sections, et sa répartition obéit à une loi harmonique. Nous avons donc encore à compter avec une valeur moyenne $\frac{2}{\pi}$ et nous obtenons le coefficient de self induction de l'antenne Marconi :

$$L' = \frac{2}{\pi} L = \frac{4}{\pi} l \log_{nat} \frac{l}{r}$$

En première approximation, nous adopterons cette valeur même pour les oscillations rapides.

§ 2. — Le transmetteur Marconi

Si l'on considère le transmetteur Marconi comme un circuit relié à la terre par un fil dépourvu de capacité et ayant une self induction L', et par la capacité C' reportée à l'extrémité, on peut pour le calcul de la période d'oscillations, employer la formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{C'L'}$$

Si l'on exprime la capacité C' en unités électromagnétiques en divisant par v^2 sa valeur en unités électrostatiques, il vient :

$$T = \frac{2\pi}{v} \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{l}{r}} \cdot \frac{4}{\pi} l . \log_{nat} \frac{l}{r}} = \frac{4l}{v}$$

Si l'on admet que la propagation de l'onde a lieu avec la vitesse de la lumière, la longueur d'onde

$$\lambda = vT$$

et l'on obtient la relation fondamentale approximative

$$\frac{\lambda}{4} = l$$

Le fil d'antenne Marconi oscille alors en quart d'onde. Il y a aussi, comme l'on sait, des harmoniques supérieurs, mais leur énergie est si faible qu'on peut les négliger tout à fait dans l'étude actuelle :

Si l'on relie au pôle d'une étincelle une longueur de fil l, avec l'autre pôle un multiple : impair de l, il se forme des ondes stationnaires dont les nœuds peuvent être déterminés avec l'échelle de multiplication (fig. 5). Ces expériences, faciles à faire, montrent que la relation indiquée par le calcul

$$\frac{\lambda}{4} = l$$

a une exactitude suffisante pour la plupart des cas de la pratique.

Si la longueur du fil opposé n'est pas un multiple impair de l_1, le fil total $l_1 + l_2$ (fig. 6) oscille en demi-onde. La place de l'étincelle est à peu près indifférente dans ce cas ; cela montre que, pour les oscillations rapides, elle agit purement et simplement comme un pont conducteur.

Il est important, au point de vue pratique, de savoir s'il y a avantage à remplacer la mise à la terre du transmetteur Marconi par un fil. Supposons pour cela que les deux fils (fig. 7) soient dépourvus de capacité et que les capacités réduites C' soient localisées aux extrémités. Pour le circuit oscillant rectiligne on a

$$L' = \frac{2}{\pi} 4l \log_{nat} \frac{r}{l}$$

La capacité totale résulte du montage en série des capacités aux extrémités et a la valeur :

$$C' = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{l}{r}} \cdot \frac{1}{v^2}$$

On a

$$T' = 2\pi \sqrt{C'L'} = \frac{4l}{v}$$

et

$$\lambda = vT = 4l$$

La longueur d'onde n'est donc pas modifiée et, dans les calculs, la mise à la terre peut toujours être remplacée par l'image de l'antenne. Mais ce

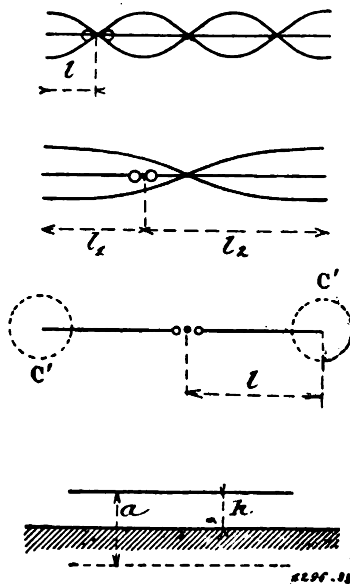


Fig. 5, 6, 7, 8

qui varie, c'est la quantité d'énergie dans le transmetteur. Dans le premier cas (mise à la terre), on a

$$A_1 = \frac{V_0^2 C'}{2}$$

et dans le second :

$$A_2 = \frac{V_0^2 C'}{4}$$

La quantité d'énergie dans le transmetteur est donc théoriquement diminuée de moitié. Comme l'action à distance dépend en première ligne de l'énergie dans le transmetteur, la mise à la terre est toujours plus avantageuse que l'emploi d'une contre-antenne.

On peut très facilement vérifier ce fait en mesurant le courant oscillant au moyen d'un appareil thermique : les déviations de l'instrument sont environ dans le rapport 1,5 à 1.

§ 3. — Emploi des échelles de multiplication

La relation trouvée $\frac{\lambda}{4} = l$ n'est habituellement qu'approximative, car le calcul s'appuie sur des hypothèses déterminées qui ne sont pas toujours remplies. La capacité est calculée en supposant que le fil est infiniment long et éloigné de masses susceptibles de prendre des charges électriques. Le calcul des coefficients d'induction est critiquable : il néglige l'induction mutuelle entre conducteurs linéaires voisins et surfaces conductrices voisines, ne tient pas compte du fait que, pour les oscillations rapides, le courant reste à la surface du fil et suppose enfin des longueurs de fil infinies. Comme on ne disposait, pour la graduation de l'échelle de multiplication, d'aucun moyen autre que la production des ondes sur des conducteurs linéaires, ces questions durent faire l'objet d'un examen approfondi.

Après de nombreuses expériences, il fut prouvé qu'on doit admetre pour la vitesse de propagation de l'électricité dans des fils rectilignes la vitesse de la lumière, de sorte que la relation

$$\lambda = Tv$$

peut être considérée comme exacte.

Les mesures de capacités sur de longs fils ont toujours donné, dans les espaces fermés, des résultats différant notablement (jusqu'à 20 %) des valeurs qu'indique le calcul d'après la formule :

$$\frac{l}{2 \log_{nat} \frac{l}{r}}$$

Nous avons obtenu une bonne concordance dans une grande salle dont le sol était recouvert, sur toute son étendue, d'un revêtement en zinc et réalisait ainsi une terre idéale.

Pour un fil (fig. 8) placé à une distance h d'une surface conductrice et parallèlement à elle, le calcul montre qu'au point de vue de sa capacité la surface exerce la même action qu'un fil parallèle placé à une distance

$$a = 2h$$

du premier. On peut donc toujours, pour le calcul de la capacité, remplacer la surface par son image.

La capacité de deux fils dont les potentiels sont + V et — V, sans tenir compte de la proximité de la terre, est :

$$C = \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{a^2}{r_1 r_2}}.$$

en désignant par a l'écartement des deux fils et par r_1, r_2 leurs rayons. Si ces derniers sont égaux, on a

$$C = \frac{l}{4 \log_{nat} \frac{a}{r}}.$$

Si le 2e fil représente l'image du premier et si la terre est à une distance $\frac{a}{2}$ de l, la formule devient

$$C = \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{a}{r}}.$$

parce que la différence de potentiel n'est plus que la moitié de ce qu'elle était tout à l'heure, en

$$C = \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{2h}{r}}.$$

Un fil nu horizontal de 10 mètres de longueur et 0,8 mm. de diamètre placé au-dessus du revêtement de zinc donna pour des écartements variables h, les valeurs suivantes de la capacité, mesurée d'après la méthode du pont avec téléphone.

A côté de ces valeurs ont été placés les chiffres calculés au moyen des formules précédentes par mètre de longueur de fil.

h cm	C_{cm} mesurée	C_{cm} calculée
—	—	—
10	9,2	9,06
20	7,3	7,25
50	6,5	6,40
75	6,1	6,09
100	5,9	5,88

La concordance entre les mesures et le calcul est parfaite.

La courbe de la fig. 9 prouve que l'influence du sol pour des distances supérieures à 100 cm. est très minime, et que pour un fil qui, dans les essais, est la plupart du temps à une distance comprise entre 0,75 et 1 mètre de la terre la capacité peut être évaluée à 6 cm. par mètre.

La formule :

$$\frac{l}{2 \log_{nat} \frac{l}{r}}$$

ne donne que 4,9 cm par mètre, présentant ain s une différence d'environ 20 %

Des mesures faites dans une autre salle dont le plancher était en bois ont donné, contre toutes les prévisions, le même résultat, et il paraît indifférent, pour l'action sur la capacité, que le sol soit en matériaux conducteurs ou non. Il y a

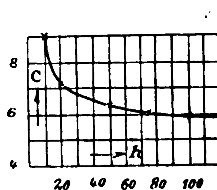


Fig. 9

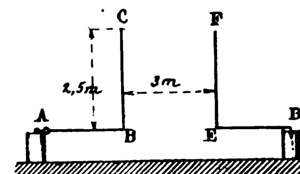


Fig. 10

toujours un accroissement de capacité dans les espaces clos, de sorte qu'on ne peut pas songer à y faire la graduation des échelles de multiplication.

Au contraire nous avons obtenu des résultats plus satisfaisants dehors. Des mesures de capacité faites sur des fils placés à 1 mètre du sol dans une allée plantée du parc de l'Ecole supérieure technique ont donné comme résultat le chiffre de 5,2 cm. par mètre, beaucoup plus proche de la valeur théorique 4,9. Pour graduer les échelles de multiplication nous avons disposé, pour plus de sécurité, les fils oscillants à 2 mètres de la terre, de sorte que l'emploi de la formule

$$\frac{l}{2 \log_{nat} \frac{l}{r}}$$

a pu être considéré comme admissible.

En ce qui concerne la self-induction, aucun contrôle de la méthode de calcul n'est possible malheureusement. A notre connaissance aucune mesure de ce genre sur fils électriques n'a été exécutée avec une rigueur suffisante. On doit cependant admettre qu'il ne se produit d'écarts d'une certaine importance que quand des conducteurs linéaires ou des surfaces conductrices sont à proximité. Dans le parc où nous avons fait nos mesures, nous étions sûrs que de telles

influences n'existaient pas. Nous croyons permis de s'appuyer sur l'hypothèse physique simple que l'extrémité du fil librement oscillant limite naturellement un quart d'onde et que l'égalité entre la vitesse de la lumière et la vitesse de l'électricité dans le fil n'a lieu que quand ni la capacité ni la self-induction du fil ne sont troublées par des influences extérieures.

Dans l'échelle de multiplication, de telles influences sont évitées, en ce qui concerne la self induction, par la forme en bobine du fil, et, en ce qui concerne la capacité, par le maintien d'un certain écartement du fil à étudier. Si alors l'échelle de multiplication est employée pour un conducteur oscillant rectiligne à l'abri des perturbations, elle indique toujours les fréquences ou longueurs d'ondes exactes, relatives à la propagation des ondes dans l'espace libre. Si on l'emploie pour mesurer un conducteur rectiligne dont la capacité ou la self-induction sont altérées par des influences extérieures, la longueur d'onde mesurée ne doit pas être en concordance avec la longueur du fil, à moins que les modifications de la capacité et de la self-induction ne se compensent de telle manière, que la relation

$$l = \sqrt{LC}$$

soit satisfaite.

En fait, les échelles de multiplication déterminent, dans la salle d'expérience avec revêtement de zinc, des longueurs d'ondes inférieures de 4 à 5 °/₀ aux longueurs de fil employées : dans une autre salle avec plancher en bois et de nombreux conducteurs, les longueurs d'onde trouvées concordent avec les longueurs de fil.

La différence observée dans la salle avec revêtement de zinc peut être prédéterminée par le calcul. La longueur d'onde exacte, correspondant à la vitesse de la lumière est donnée par la formule

$$T v = \lambda = 2\pi \sqrt{\frac{2}{\pi} C \frac{2}{\pi} L}$$

en tenant compte, pour la valeur de C, de la distance du zinc, c'est-à-dire

$$C = \frac{l}{2 \log_{nat} \frac{2h}{r}}$$

et en supposant, dans le calcul de la self-induction, que le courant passe par la surface du conducteur. Le coefficient de self-induction d'un fil l de rayon r a, lorsque le courant ne pénètre pas à l'intérieur, la même valeur que l'induction mutuelle de deux fils parallèles placés à une distance r, puisqu'on peut supposer que chaque filet de courant est induit par la somme de tous les autres filets de courant supposés concentrés au centre. Le coefficient d'induction mutuelle pour deux fils parallèles placés à une distance r l'un de l'autre est, comme l'on sait :

$$M = 2l \left[\log_{nat} \frac{2l}{r} - 1 \right]$$

C'est la valeur qu'a le coefficient de self-induction d'un fil dans notre hypothèse. Il faut aussi tenir compte de l'induction mutuelle due au revêtement de zinc. Si l'on remplace ce dernier par un fil parallèle, le coefficient d'induction total pour le fil oscillant est :

$$L = 2l \left[\log_{nat} \frac{2l}{r} - \log_{nat} \frac{2l}{h} \right] = 2l \log_{nat} \frac{h}{r}$$

D'où :

$$T v = \lambda = 4l \sqrt{\frac{\log_{nat} \frac{h}{r}}{\log_{nat} \frac{2h}{r}}}$$

Pour $h = 100$ cm.
$r = 0{,}04$ cm.
le radical est égal à 0,958.

Le quart d'onde est alors, dans le cas du revêtement de zinc :

$$\frac{\lambda}{4} = 0{,}958 l$$

La mesure faite sur un fil de 12 mètres de longueur et 0,8 m/m de diamètre placé à 1 mètre du plancher et coupé en son milieu par l'étincelle, a donné comme longueur du quart d'onde 5 m. 75 au lieu de 6 mètres.

Le calcul fait ci-dessus donne

$$\frac{\lambda}{4} = 5{,}748 \text{ mètres}$$

et confirme par conséquent la mesure.

Dans les mesures faites à l'air libre, les conditions atmosphériques semblent n'être pas sans influence. La première graduation de l'échelle normale conservée au laboratoire fut faite en Octobre 1903 par un temps brumeux et humide. En février 1904, la graduation fut refaite par un temps clair de gelée. Les deux séries de mesures présentent une différence constante de plusieurs pour cent. Comme la méthode et le soin apporté

aux mesures ont été les mêmes dans les deux cas, la différence ne nous semble explicable que par une augmentation de la capacité par suite de l'humidité de l'air. Les longueurs d'onde trouvées dans le dernier cas étaient par suite les plus grandes. Dans les mesures suivantes on a pris comme base la graduation faite par un temps sec.

§ 4. — L'action a distance du transmetteur Marconi

Avant de discuter quelles sont les formes les plus favorables pour un transmetteur, on doit se demander de quelle forme d'énergie du conducteur oscillant dépend l'action à distance. On peut dire avec certitude que les deux formes d'énergie exercent une action à distance, car la partie supérieure du fil oscillant produit un champ électrique pulsatoire, et la partie inférieure un champ magnétique pulsatoire de même fréquence. Tandis que les lignes de face électriques sont transmises normalement à la surface du fil, les lignes de face magnétiques se ferment en cercles concentriques croissants. Les premières se condensent dans des couches d'air placées à une certaine distance de la surface de la terre ; les secondes, à proximité de celle-ci.

Les lignes de force électriques sont celles d'un condensateur : elles cherchent l'autre armature, représentée par la surface conductrice de la terre. Les lignes de force magnétiques tendent à se disperser.

La théorie de Maxwell prouve que les actions à distance, dans le cas des lignes de force électriques, diminuent comme le cube de la distance, et dans le cas des lignes de force magnétique, comme la première puissance de la distance.

La grande importance pratique de cette question pour la télégraphie sans fil n'a pas comme unique appui cette conclusion qui, malgré toute la vraisemblance, est toujours hypothétique.

La question qu'il faut trancher est la suivante : L'action à distance d'un transmetteur de télégraphie sans fil dépend-elle également de ses lignes de force électriques et de ses lignes de force magnétiques, ou, sinon, auxquelles des deux faut-il l'attribuer en premier lieu ?

L'étude de cette question dans l'espace limité d'un laboratoire présente les plus grandes difficultés. Les faibles distances auxquelles on est forcé d'opérer ne permettent jamais d'exclure entièrement les actions électriqués, et le résultat est toujours influencé par les deux actions. Dans les essais faits à l'air libre sur de grandes distances, on a à compter avec des influences de différents genres pour lesquelles on manque d'un instrument de mesure certain permettant de chiffrer les actions. Cependant nous croyons que les expériences suivantes peuvent permettre de résoudre la question dans le sens des conclusions de Maxwell, tout au moins en ce qui concerne l'importance relative des deux champs de force. — Un fil transmetteur A B C de 5 mètres (fig. 10) était, sur la moitié de sa longueur, parallèle à un fil récepteur de même forme, D E F, placé à 3 mètres de lui. La disposition était celle de la figure 10 dans un premier essai, et celle de la figure 11 dans le second. Dans le premier cas, c'était principalement le ventre de tension qui agissait, et dans le second cas, c'était le ventre de courant du transmetteur. Comme terre on avait pris le revêtement en zinc de la salle auquel étaient reliés deux cylindres en zinc de 1 mètre de hauteur et 0,4 mètre de diamètre.

La longueur d'étincelle au récepteur, mesurée avec un micromètre, donna dans le premier cas (fig. 10) 0,293 mm, et dans le second cas (fig. 11) 0,403 mm. L'action du ventre de courant était donc de 38 % plus grande que celle du ventre de tension. En renouvelant l'expérience avec une

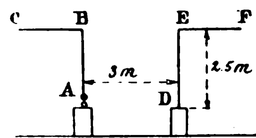


Fig. 11

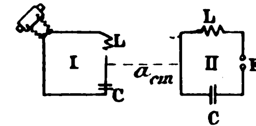


Fig. 12

longueur de fil de 10 mètres, on trouva, pour un écartement de 1,6 mètres, des longueurs d'étincelles de 1,79 mm et de 2,41 mm, c'est-à-dire une différence de 35 % dans le même sens.

Une autre expérience faite avec des cadres en introduisant une self-induction confirme cette conclusion.

Deux cadres carrés de 3 mètres de côté (fig. 12) furent placés dans le prolongement l'un de l'autre. I et II contenaient la même self-induction

$$\begin{cases} L = 22500 \text{ cms} \\ C = 220 \text{ cms} \end{cases}$$

et la même capacité

Comme le ventre de tension se produit toujours entre L et C, et le ventre d'intensité sur le fil opposé, ce sont les lignes de force électriques dans le dispositif de la fig. 12, et les lignes de

force magnétiques dans le dispositif de la fig. 13 qui prennent la plus grande part à la transmission.

On constate que l'action du fil de tension décroît beaucoup plus rapidement avec l'éloignement que l'action du fil de courant : à une certaine distance les actions sont égales dans les

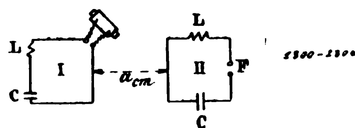


Fig. 13

deux cas, et, à partir de ce moment on peut admettre que l'action dépend purement et simplement du champ magnétique (fig. 14).

On peut en tirer une conclusion importante sur le point où il convient d'établir le transmetteur. Ce dernier doit être choisi de telle manière que les lignes de force émanées du ventre de courant puis-

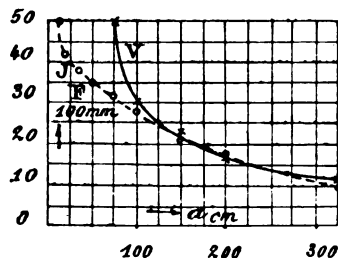


Fig. 14

sent s'étendre et se propager sans rencontrer d'obstacles. Tous les conducteurs verticaux de quelque longueur placés à proximité de la station sont autant de sources de pertes, car ils sont coupés normalement par les lignes de force magnétiques. A bord des bateaux, on ne peut pas les éviter : dans les postes stationnaires, il faut choisir un point élevé.

Il est important d'avoir une bonne prise de terre qui permette l'utilisation complète du ventre de courant. Sur les bateaux de guerre le cuirassement réalise une prise de terre excellente. Dans les postes stationnaires, au contraire, on se heurte fréquemment à des difficultés, et il est bon de contrôler la valeur de la prise de terre au moyen de l'échelle de multiplication. On relie l'un des pôles d'un éclateur à la prise de terre, on relie l'autre pôle un fil droit de 10 à 20 mètres de longueur et on mesure le quart d'onde sur ce fil. Plus le quart d'onde s'approche de la longueur du fil et meilleure est la prise de terre.

(*A suivre*). R. V.

ÉCLAIRAGE

Recherches sur l'arc chantant. **Maisel.** Physikalische Zeitschrift, 1er septembre.

Dans le premier travail sur l'arc chantant (*the Electrician*, 46 269. 1900), M. Duddell indique comme condition principale pour la production d'oscillations la condition $\frac{dv}{di} < 0$, dv étant la variation momentanée de la tension, et di la variation momentanée du courant dans l'arc. Cette condition n'est rigoureusement remplie, pour des périodes d'oscillations variant dans de larges limites, que dans l'arc entre charbons homogènes. Dans tous les autres cas, le rapport $\frac{dv}{di}$ est positif, même pour des variations de courant relativement lentes. Par suite l'arc entre charbons devrait seul être susceptible de chanter.

Cette condition a été déduite mathématiquement par M. Duddell de l'hypothèse que l'énergie des oscillations ne provient que du circuit des condensateurs : elle a été confirmée ensuite par M. P. Janet qui l'a établie mathématiquement en admettant que le courant est sinusoïdal dans le circuit des condensateurs. Dernièrement (*The Electrician*, septembre 1903), M. Duddell a rappelé l'importance de cette condition pour la production de sons musicaux dans l'arc et a nié qu'il pût exister dans ce dernier des oscillations de période inférieure à 0,00001 seconde puisque, pour 100.000 oscillations par seconde, la grandeur $\frac{dv}{di}$ est positive, même avec des charbons homogènes. La validité de cette condition primordiale établie par Duddell était d'ailleurs admise par tout le monde.

Cependant, peu après cette affirmation de M. Duddell, M. Wertheim Salomonson indiquait qu'il avait observé dans l'arc chantant des fréquences de 400.000 par seconde et enregistré photographiquement des oscillations de fréquence 135.000 par seconde. Un travail de M. Corbino paru presque à la même époque, montrait que le courant dans le circuit des condensateurs n'était pas du tout sinusoïdal et même pas symétrique. D'autre part, il était établi par les travaux de Wertheim Salomonson, ceux d'Ascoli et Manzelti, et les nôtres, que la formule de Thomson n'est pas valable pour le calcul de la période dans l'arc. Toutes nos connaissances sur le phénomène de l'arc chantant étaient donc, en peu

de temps, devenues tout à fait incertaines. Il faut remarquer que, jusqu'à ces derniers temps, aucune théorie du phénomène n'avait été donnée, et que la production des oscillations dans l'arc n'avait pas été expliquée.

Dans le travail précité de M. Corbino (Atti della Assoc. elettrot. italiana 7 597 1903), on trouve une explication du mécanisme de l'arc chantant que nous adoptons entièrement dans quelques parties. Malheureusement cet auteur laisse subsister la condition primordiale $\frac{dv}{di} < 0$. Cette façon de voir, qui attribue un rôle prépondérant à l'arc et aussi à la constitution des électrodes dans la production d'oscillations permanentes, nous a toujours paru très douteuse. Il est vrai que les conditions de Duddell et de Janet ont été trouvées par des déductions mathématiques, mais, comme on le sait depuis longtemps, les mathématiques doivent s'appuyer sur des faits rigoureusement prouvés, et ce n'est pas le cas.

2. — L'ingénieuse théorie de l'arc électrique, qui a été développée par Mitkiewicz (*Journal Russe de physique et chimie* 1903, pages 507 et 675), par J. Stark (annalen der Physik 12, 673, 1903) et par J. J. Thomson (conduction of Electricity trough gases p. 418) a exercé une influence décisive sur nos recherches. D'après cette théorie le rôle principal dans le phénomène de l'arc est dû à l'état de température de la cathode. Lorsque l'arc est éteint, il ne peut se rallumer de lui-même que dans le cas où la cathode possède une température suffisamment élevée. La température de l'anode et la matière dont elle est constituée ne jouent aucun rôle. Les photographies de l'arc chantant que nous avons faites ces dernières années, et les recherches stroboscopiques décrites plus loin, ont montré que l'arc entre charbons homogènes s'éteint et se rallume pendant chaque période d'oscillations. Il nous a paru que cette extinction est la cause principale de la production des sons musicaux. Mais comme, d'après la théorie de Mitkiewicz, l'anode ne joue aucun rôle dans le rallumage de l'arc, nous avons essayé de la constituer par du fer au lieu de charbon. Avec quelque peine, nous avons obtenu des sons musicaux avec un tel arc. Il est vrai que ce dernier sifflait très fortement et que les notes n'étaient pas distinctes. Nous avons renversé le sens du courant en prenant le fer comme cathode, et nous avons encore obtenu des sons. Ensuite nous avons essayé de faire les deux électrodes en fer et nous sommes parvenus, après d'assez longs tâtonnements, à réaliser un arc chantant. Dans ce cas encore, les notes n'étaient pas distinctes, mais nous avons réussi plus tard à obtenir dans ces conditions des sons très nets. La période des oscillations était environ 0,0008 seconde dans ces expériences. M. Duddell a écrit que toutes les vapeurs (excepté les vapeurs de carbone) présentent, pour des oscillations rapides, un rapport $\frac{dv}{di}$ positif. Comme, dans le cas précité, nous avions affaire à des vapeurs de fer, nous devions encore avoir $\frac{dv}{di} > o$. Mais pour en être tout à fait certains, nous nous sommes décidés à choisir un arc où le rapport $\frac{dv}{di}$ fût sûrement positif, et nous avons pris l'arc au mercure. Pour ce dernier, on a toujours, comme l'a montré M. Weintraub, $\frac{dv}{di} > o$.

3. — Nous avons d'abord essayé de produire un arc chantant entre une cathode en charbon et une anode en mercure. L'appareil employé est représenté par la fig. 1. La pression de l'air dans le récipient A est abaissée à 3^{mm}; C est l'électrode de charbon et Hg le mercure. L'arc émettait un son intense, quoique le vide fût fait dans le récipient, car les oscillations étaient transmises par le mercure et les parois en verre. Lorsque nous avons renversé le sens du courant, nous avons obtenu le même résultat qu'auparavant : même avec la cathode en mercure, l'arc émettait des sons intenses. Après ces essais provisoires, nous avons passé à l'étude de l'arc à double électrode de mercure. Comme pendant chacune des oscillations l'arc s'éteint et doit se rallumer, la différence de potentiel aux électrodes doit être suffisamment élevée pour permettre l'auto-amorçage. Mais l'arc au mercure exige, pour son amorçage, quelques milliers de volts. Comme nous n'avions pas sous la main du courant sous une aussi forte différence de potentiel, nous avons employé la méthode indiquée par M. Weintraub et qui

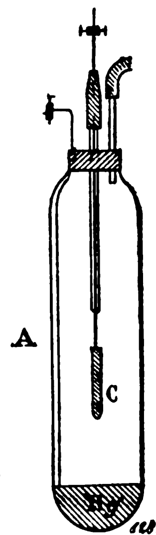


Fig. 1

n'exige pas plus d'une centaine de volts. Cette méthode consiste à prendre la cathode de l'arc, à étudier comme cathode d'un autre petit arc auxiliaire. Le schéma que nous avons adopté est indiqué par la fig. 2. E est la batterie d'accumulateurs, A la cathode commune, B l'anode de l'arc principal, R_1 sa résistance de réglage, C l'anode de l'arc auxiliaire, R_2 sa résistance de

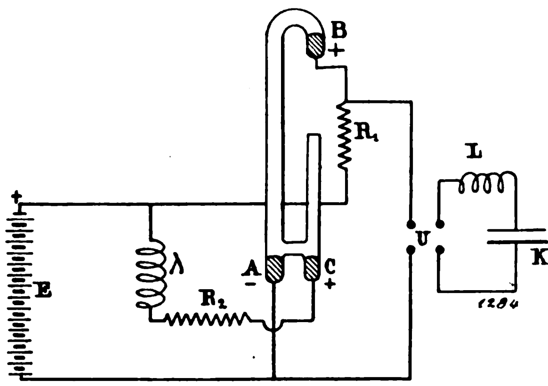


Fig. 2

réglage, U un interrupteur bipolaire, L une self-induction, K une capacité. Dans le circuit de l'arc auxiliaire est intercalée une bobine de réactance X destinée à maintenir le courant constant.

Après que l'on a allumé le petit arc AC en agitant le tube, le grand arc AB jaillit de lui-même pour une différence de potentiel d'environ 120 volts. Dans notre arc, l'anode B était en mercure et cela nous gênait beaucoup : pendant un certain temps nous ne pûmes pas obtenir d'arc chantant. Mais ayant remarqué qu'il se produisait à l'anode une vaporisation intense du mercure, nous avons essayé d'introduire le circuit des condensateurs aussitôt après l'allumage de l'arc, avant qu'il se produise beaucoup de vapeurs de mercure, et nous avons obtenu un son très distinct. Evidemment la grande quantité de vapeurs empêchait l'établissement des oscillations. Même dans ce cas, et malgré le vide avancé dans le tube (0,01 m/m.) les oscillations étaient très distinctes. Le son était très pur, mais peu durable et souvent difficile à obtenir. Pour le rendre plus constant, il fallait constituer l'anode B par du fer ou du graphite. Les conditions de courant pour lesquelles se produisait l'arc chantant étaient les suivantes dans ces expériences : dans le grand arc AB (environ 18 cms) : intensité 2 ampères ; différence de potentiel 30 volts ; dans le petit arc AC ; environ 1 ampère.

L'importance de l'arc à mercure chantant pour la télégraphie sans fil a déjà été indiquée ; avec la méthode que nous avons employée, la production d'oscillations non amorties peut être obtenue dans l'arc au mercure non seulement à des basses tensions, mais même à des tensions aussi élevées que l'on veut.

4. — Revenons à la condition $\frac{dv}{di} < o$. Cette condition repose sur l'hypothèse que le courant est sinusoïdal ou, ce qui revient au même, que l'énergie des oscillations vient uniquement du circuit des condensateurs. Cependant Corbino

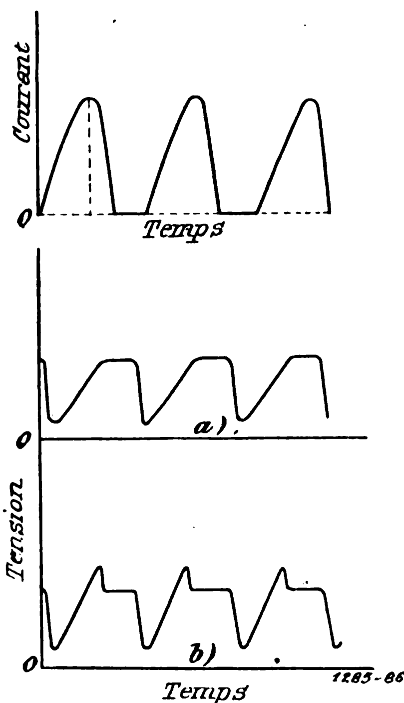


Fig. 3 et 4

a montré que la courbe de courant dans ce circuit est très différente d'une sinusoïde. Nous avons mesuré le courant dans l'arc lui-même au moyen d'un tube de Braun ; la courbe que nous avons trouvée, pour un arc de 2,5 ampères entre électrodes de charbon, est représentée fig. 3. On peut remarquer sur cette courbe la chute rapide et l'élévation lente du courant : de plus on voit nettement aussi que le courant est absolument nul pendant un certain temps, pendant lequel l'arc n'existe par conséquent pas. La courbe de tension est encore plus instructive, et est représentée par la fig. 4 On voit que la différence de potentiel tombe tout à coup presque à zéro et

monte ensuite lentement. Des deux courbes représentées, la courbe *a* a été observée pour un état stable et la courbe *b* pour un état un peu instable de l'arc chantant.

En rassemblant tous ces renseignements, nous pouvons nous faire une idée claire du mécanisme de l'arc chantant.

Quand on place une self-induction et un condensateur en dérivation aux bornes d'un arc brûlant normalement, l'électricité doit affluer en grande quantité vers la capacité. Si le courant principal n'est pas assez intense pour alimenter l'arc et charger en même temps le condensateur, la différence de potentiel aux bornes de l'arc doit tomber par suite de cet afflux de courant. Elle peut tomber assez bas pour devenir inférieure ou égale à la somme des chutes de tension à l'anode et à la cathode et, à ce moment, l'arc s'éteint. Il ne reste plus que le circuit simple : batterie-condensateur, et la charge dépend de la résistance et de la self-induction que contient ce circuit. Le condensateur se charge plus ou moins vite et vraisemblablement presque jusqu'à la différence de potentiel totale de la batterie. Mais, pendant que le condensateur se charge, la tension s'élève dans la branche du circuit qui contient l'arc et à un moment, si la cathode est encore assez chaude, la résistance de l'arc est surmontée. Ce dernier se rallume et le condensateur doit commencer à se décharger à nouveau. Par suite de l'existence d'une self-induction, il ne peut pas se décharger jusqu'à la différence de potentiel de l'arc et en rester là : il est forcé de se décharger jusqu'à zéro, puis le phénomène se reproduit. La décharge du condensateur s'effectue approximativement d'après la loi de Thomson, mais il n'en est pas de même de la charge.

Nous pouvons voir maintenant que

a) La condition $\frac{dv}{di} < 0$ n'a à peu près aucune signification, car pendant l'extinction de l'arc, le courant principal amène au condensateur une énergie bien suffisante et le courant n'est pas sinusoïdal.

b) Il en résulte que l'arc chantant peut théoriquement être obtenu pour la fréquence et avec les électrodes que l'on désire.

c) La cathode doit avoir une température élevée ou être maintenue active ; autrement, l'arc s'éteint quand on ferme le circuit du condensateur.

d) L'arc ne peut chanter que dans certaines conditions d'intensité de courant et de différence de potentiel aux bornes (nous l'avions déjà observé l'an dernier) ; par exemple un arc de 3,8 amp. ne chantait que pour une différence de potentiel de 56 volts.

e) La période de charge doit dépendre de l'intensité du courant principal et, plus ce dernier est faible, plus la période de charge doit être longue. Nous avons également obtenu pour un arc de 3,8 amp. T = 0,00075 ; pour un arc de 3 ampères T = 0,000788 ; pour un arc de 2,05 amp. T = 0,000800 ; et pour un arc de 1,75 amp. T = 0,000835.

5.— Le fait que l'arc entre électrodes de fer chante est nettement en contradiction avec le § *c*. Car on sait que les cathodes métalliques se refroidissent rapidement et que, par suite, le rallumage d'un arc éteint entre électrodes métalliques ne peut pas se produire spontanément (Blondel CR 127,1016 ; 128,727 ; 1898). Nous avons voulu examiner également ce point. Comme nous l'avons déjà dit, l'arc métallique et l'arc entre charbon et fer chantent d'une façon peu nette et sifflent fortement. Mais lorsqu'un arc au charbon siffle aussi, il chante très mal, d'une façon irrégulière et peu nette. Dans les expériences que nous avons faites avec un tube de Braun sur le courant dans l'arc chantant entre électrodes de fer, nous avons obtenu une courbe très déformée, à laquelle nous ne pouvions rien comprendre, mais qui certainement ne tombait pas jusqu'au zéro, c'est-à-dire que l'arc ne s'éteignait à aucun moment. Comme il était impossible de se servir d'une telle courbe et que l'arc sifflant se prête très mal aux expériences, nous nous sommes efforcés d'obtenir un arc tranquille entre électrodes de fer. Pour cela il fallut abaisser le courant à une intensité égale ou inférieure à 2 ampères et diminuer la longueur de l'arc jusqu'à environ 1 $^m/_m$. Nous avons obtenu alors un arc qui donnait un son pur et intense mais qui s'éteignait très vite, en 1/2 seconde environ. Cela doit bien se produire si la théorie précédente est exacte, puisque rien ne maintient la température élevée ou l'activité de la cathode. On pourrait, en chauffant cette dernière, obtenir un arc chantant plus long entre électrodes de fer. Dans l'arc au mercure que nous avons employé, il en est autrement. Le son permanent de l'arc sifflant ne peut pas encore être expliqué d'une façon satisfaisante : il est

vraisemblablement lié au phénomène encore peu connu du sifflement.

Au moment où l'arc au fer commence à chanter d'une façon nette, sa courbe de courant devient nette aussi et semblable à la courbe de courant de l'arc au carbone. Le courant passe une fois par zéro dans chaque période.

L'arc entre cathode en charbon et anode en fer présente le même cas. Il est très difficile d'obtenir cet arc sans sifflement, et il faut, pour cela, affaiblir beaucoup le courant. Mais alors le charbon n'est pas assez chaud et se refroidit très vite : il faut le tailler en pointe aiguë ayant 1 1/2 ou $2^m/_m$ de diamètre. Dans ce cas, la pointe devient très chaude, ne perd pas si vite sa chaleur, et l'arc donne un son intense et pur pendant un certain temps (souvent 15 à 30 secondes). La cathode finit quand même par se refroidir et l'arc s'éteint.

6. — Nous ajouterons quelques mots sur l'observation stroboscopique de l'arc chantant. La méthode stroboscopique nous a donné de bons résultats pour nos recherches sur l'arc, car elle nous a montré sans aucun doute que l'arc s'éteint à chaque période. Un électro-moteur faisait tourner devant l'arc un grand disque de carton (70 cms de diamètre) sur la périphérie duquel avaient été faites 96 ouvertures. Une lentille envoyait l'image de l'arc sur les ouvertures ; une seconde lentille donnait une image sur l'écran ou sur la plaque photographique. Le disque tournait rapidement (environ 12,5 tours par seconde). Lorsque le temps écoulé entre le passage de deux ouvertures successives devant l'image de l'arc est exactement égal à une période complète, on voit toujours la même phase sur l'écran. On peut aussi laisser varier lentement la phase en déplaçant le disque un peu plus vite ou un peu plus lentement. Il est ainsi possible d'étudier chaque phase distincte, de la photographier, et de décomposer tous les phénomènes qui se produisent pendant une oscillation dans l'arc chantant. Il est également très intéressant de voir l'arc diminuer, s'éteindre brusquement, rester un certain temps obscur, puis apparaître à nouveau et croître d'intensité. De telles observations seraient, croyons-nous, de nature à permettre d'éclaircir un grand nombre de phénomènes intéressants que présente l'arc chantant. Les deux photographies de la fig. 5 représentent le minimum et le maximum de l'arc. On peut facilement voir que l'arc s'éteint complètement et que, seules, les pointes de charbon restent visibles (l'anode seule sur la fig. 5). La pose des deux photographies est d'environ $\frac{1}{200^e}$ de seconde ; la période de l'arc entre électrodes de charbons homogènes 0,00075 seconde.

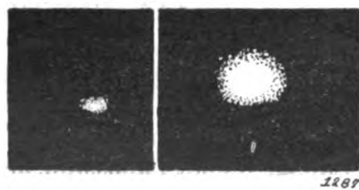


Fig. 5

Lorsque nous avons voulu faire des études stroboscopiques sur l'arc entre électrodes de fer, nous n'avons pu obtenir aucun résultat, car l'arc sifflant produit de fortes oscillations d'intensité lumineuse et la stroboscopie est impossible. Par contre, l'arc au mercure se prête suffisamment bien à cette étude.

Dans toutes les expériences décrites, nous avions dans le circuit des condensateurs une capacité de 3,43 microfarads, et une self-induction de $3{,}4.10^{-3}$ Henry.

(Université de St. Pétersbourg : institut de physique.)

R. V.

MESURES

L'oscillographe Duddell, d'après F. C. **Perkins**, dans *l'Electrical Review*, de New-York.

L'extrême développement qu'a pris en ces dernières années l'emploi des courants alternatifs, monophasés ou polyphasés a rendu très nécessaire la création d'un instrument susceptible d'enregistrer, d'une façon suffisamment aisée, la forme des ondes électriques.

La connaissance de la courbure de l'ondulation, des irrégularités qu'elle présente, de l'accentuation plus ou moins grande de la pointe, constitue une donnée qui, dans beaucoup de cas, est d'une importance capitale.

C'est, notamment, pour l'étude des effets de résonance, lesquels peuvent être pernicieux, dangereux au plus haut point, que le besoin d'un appareil tel que celui défini ci-dessus se fait sentir.

Le rendement d'un grand nombre d'instruments, d'alternateurs, de transformateurs, etc. semble, en outre, dépendre autant de la forme de l'onde que de la fréquence des alternations.

A un autre point de vue encore, il paraît être d'une grande utilité de disposer de ce que nous pourrions appeler un vibroscope électrique. Il est à peu près indubitable que la constante de certains instruments doit varier selon la forme des ondes électriques.

M. Duddell a fait breveter un oscillographe qui répond au but en question ; les ondes électriques peuvent y être tracées soit sur une pellicule, soit sur une plaque photographiques, soit de toute autre façon.

Les essais auxquels l'oscillographe Duddell a été soumis ont mieux fait ressortir encore l'importance de ce dispositif et ils ont conduit à des conclusions pratiques d'un grand intérêt.

Un ingénieur anglais, M. Field, qui a soumis l'oscillographe Duddell à des expériences multiples et qui s'en est servi pour de nombreux essais, a reconnu toute la valeur de cet appareil et par l'examen raisonné des clichés obtenus, il est arrivé à des constatations très neuves, parfois en contradiction avec les conceptions que nous avions cru devoir adopter.

Avant d'entrer dans la description de l'oscillographe, qu'il nous soit permis de donner à ce sujet quelques exemples, connus sans doute, mais que nous voudrions rappeler.

Il a été constaté que la forme de l'onde exerce sur la consommation d'énergie, pour l'éclairage, une influence marquée. Le rendement d'une installation de lampes alimentées par le courant alternatif est loin d'être indépendant de la nature de l'ondulation. On peut affirmer que l'onde s'aplanissant à son sommet, correspond à une efficacité de beaucoup supérieure à celle de l'onde aiguë. Dans certaines expériences, le rendement variait de plus de quarante pour cent. Ce n'est pas négligeable !

Des faits identiques ont été révélés pour d'autres applications.

Le rendement des transformateurs subit des changements qui atteignent les mêmes limites ; disons, en passant, que pour ces appareils c'est l'onde effilée qu'il convient d'adopter de préférence.

D'autre part, les effets de résonance dont nous avons dit un mot précédemment produisent parfois des accidents regrettables en détruisant ou, tout au moins, en endommageant les isolants.

Bref, l'oscillographe paraît devoir rencontrer autant de succès dans le domaine de la pratique que dans celui de la théorie pure.

Son rôle en électricité sera comparable sans doute à ce qu'a été celui du vibroscope et des miroirs de Kœnig en acoustique.

Nous sommes porté à croire qu'il contribuera puissamment à l'étude des courants alternatifs et, comme conséquence, de tous les appareils électro-mécaniques.

***

Le principe de l'oscillographe est assez simple ; la réalisation de l'idée, toutefois, l'était moins. Il consiste à recevoir sur une surface sensibilisée le rayon lumineux dirigé sur le miroir d'un galvanomètre convenablement choisi.

Le miroir oscille autour d'un axe vertical, c'est-à-dire que le faisceau de lumière réfléchi se déplace dans un plan horizontal. Pour que ces oscillations puissent être enregistrées, il suffit d'empêcher les images de se superposer ; le problème est facile à résoudre : on doit procéder comme on le fait dans le vibroscope, dont nous avons rappelé le nom, c'est-à-dire qu'il faut produire le déplacement, dans un sens vertical, avec une vitesse convenable, de la feuille sensibilisée.

Voyons comment M. Duddell a répondu à ces différents desiderata.

De ce qui précède, ressort d'abord cette conclusion que l'oscillographe doit comprendre deux parties : un galvanomètre et un enregistreur ; ajoutons-y la source lumineuse avec les lentilles de condensation destinées à produire un faisceau susceptible, par son intensité et sa forme, ainsi que par ses dimensions, de dessiner les oscillations.

La pellicule ou la plaque photographiques peuvent être remplacées par un miroir rotatif.

Le galvanomètre Duddell est une modification de celui de d'Arsonval.

L'instrument (fig. 1) est constitué d'un aimant puissant, en forme de tore, ne présentant qu'un entrefer étroit, dans lequel sont placées les extrémités d'une boucle de bronze phosphoreux. Cette boucle est, d'une part, suspendue à une poulie avec ressort de tension ; d'autre part, ses abouts sont fixés, au bas de l'aimant, sur un bloc portant les bornes d'attache (deux).

On peut modifier la périodicité de la boucle en agissant sur la tension du ressort soutenant la poulie.

Chacune des branches de la boucle est placée dans un espace particulier, étroit, où elle est entourée d'huile liquide qui a pour but d'amortir les oscillations ; l'huile est protégée par une petite lentille que la tension superficielle du fluide maintient en place.

C'est dans le conducteur de bronze phosphoreux qu'est envoyé le courant ; on le met à l'abri des intensités trop grandes par l'adjonction de fusibles.

Le passage de l'électricité dans le fil a pour effet de produire une certaine torsion de la boucle ; un des côtés se déplace vers l'avant, l'autre vers l'arrière.

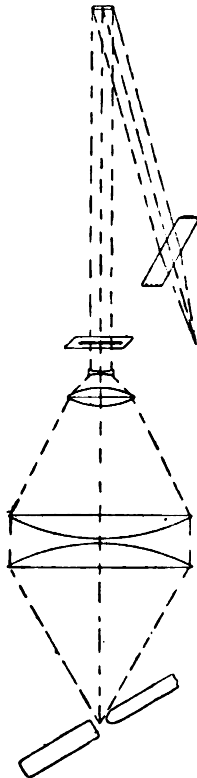


Fig. 1
Système optique de l'oscillographe Duddell

Cette torsion de la boucle se communique à un miroir, de petite dimension, monté sur les deux branches.

Un faisceau lumineux tombant normalement, au repos, sur la surface du miroir, est réfléchi suivant une direction et un angle qui varient avec la torsion.

A chaque instant, la grandeur de la déviation est proportionnelle à l'intensité du courant qui la produit ; si le courant est constant, la déviation reste invariable ; s'il subit, tout en ne changeant pas de sens, des fluctuations plus ou moins rapides et caractérisées, ces variations se présentent sur l'angle de déviation ; enfin si le courant est alternatif, le faisceau lumineux oscille de part et d'autre du zéro.

Il s'agit d'enregistrer, de fixer ces mouvements sur une surface matérielle et de façon à ce qu'on puisse distinguer les déplacements successifs l'un de l'autre ; sans quoi les images se superposeraient et l'on n'aurait finalement qu'une indication, sans grande valeur, quant à la déviation la plus marquée dans un sens et dans le sens opposé ; l'appareil ne fonctionnerait donc que comme instrument à minima et maxima, sans plus. Ce serait insuffisant.

Il est simple, avons-nous dit, d'en étendre le rôle ; pour arriver au résultat désiré, on déplace la surface d'enregistrement dans une direction perpendiculaire au mouvement de l'oscillation ; on peut faire usage soit d'une plaque photographique soit d'une pellicule cinématographique. Un autre moyen consiste à recevoir les rayons lumineux sur un miroir tournant à l'aide duquel on observe à l'œil les ondulations.

La forme de l'onde se trouve donc représentée sur la surface sensible ; cette onde est, selon le mode de montage, celle de la force électro-motrice ou celle du courant.

Pour obtenir l'image de la force électro-motrice, il faut employer le galvanomètre comme voltmètre, c'est-à-dire l'employer tel quel ou shunté par une résistance appropriée.

Ajoutons que l'on règle la sensibilité et la périodicité propre du système en agissant sur la poulie de suspension par l'intermédiaire de son ressort.

Le miroir étant de très petites dimensions (il ne dépasse pas en largeur 1^{mm}, en hauteur $0{,}3^{mm}$) il est de première nécessité que le faisceau de rayons lumineux soit fortement condensé afin que l'on obtienne un trait ou une tache bien visible.

La source lumineuse est généralement constituée par une lampe à arc ; un condenseur (fig. 2), formé, dans les bons appareils, de deux lentilles plan-convexes, accouplées face convexe vers l'intérieur, et d'une lentille biconvexe, concentre les rayons en un faisceau intense que l'on reprend pour le transformer en un faisceau de rayons

parallèles, au moyen d'une lentille biconcave. Un écran, coupé d'une fente verticale étroite, arrête une partie des rayons ; la partie restante tombe sur le miroir de l'oscillographe qui la réfléchit, toujours en un faisceau de rayons parallèles ; enfin, une dernière lentille, cylindrique celle-ci, fait subir au faisceau une condensation dans le sens vertical, ce qui fait que l'on obtient,

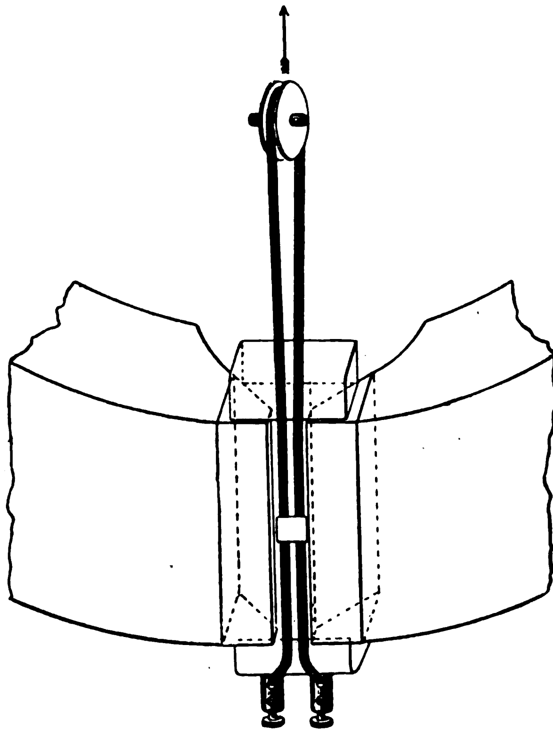


Fig. 2
Galvanomètre Duddell

au foyer de la lentille, une tache lumineuse fortement éclairée dont les mouvements dénoncent ceux du miroir.

L'éclat de ce point lumineux est suffisant pour qu'on puisse enregistrer le mouvement par voie photographique.

Ce procédé d'enregistrement est excessivement pratique et rapide et il donne des résultats d'une exactitude absolue.

Le procédé consiste, comme nous l'avons vu, à déplacer rapidement, dans une direction perpendiculaire aux oscillations du trait lumineux, une pellicule photographique ou une plaque du même genre.

La première méthode (emploi d'une pellicule) est utilisée quand il s'agit d'obtenir un tracé très développé.

Pour certaines questions, il est absolument indispensable en effet que l'on puisse suivre la forme de l'oscillation non pas pendant une ou deux périodes, mais pendant un nombre considérable d'ondulations.

Il en est ainsi notamment quand l'oscillation à observer n'est pas uniforme et régulière et que des variations peuvent s'y produire par suite de l'introduction d'appareils dans le circuit.

La mise en parallèle d'alternateurs, la mise en vitesse de moteurs, la fermeture et l'ouverture de circuits constitués de câbles, etc., etc., exigent des observations de longue durée. Il ne serait pas possible d'arriver à un résultat satisfaisant et significatif au moyen d'une plaque dont les dimensions sont trop faibles.

C'est une pellicule que l'on emploie alors et l'on adjoint en conséquence une chambre spéciale à l'oscillographe.

La pellicule employée est une pellicule ordinaire de cinématographe, de cinquante mètres de longueur. Elle est disposée sur des rouleaux dans une chambre noire que l'on adapte à l'oscillographe. Un petit moteur électrique produit l'entraînement de la pellicule. Un interrupteur automatique à fonctionnement rapide permet de fermer et de couper instantanément le circuit du moteur et de mettre, en même temps, en marche ou d'immobiliser la pellicule.

Certains appareils sont pourvus d'un miroir supplémentaire fixe qui, renvoyant également un faisceau sur la pellicule (ou la plaque) y trace une raie droite représentant la ligne du zéro.

Quand ce miroir n'existe pas, on adjoint à la chambre noire un fil mince qui coupe le faisceau de telle sorte que la ligne du zéro est néanmoins indiquée.

L'ouverture de la boîte à pellicule est pourvue d'un obturateur à l'aide duquel on ferme la caisse hermétiquement de façon à mettre la pellicule à l'abri de toute atteinte inopportune de rayons lumineux et à permettre d'enlever aisément la chambre, soit pour substituer à la pellicule une autre, soit pour remplacer la chambre à pellicule par une caisse à plaque glissante, etc.

Dans un assez grand nombre de cas, il suffit d'une plaque photographique pour enregistrer la partie intéressante de la courbe observée ; l'appareil ainsi constitué, étant moins compliqué, est également d'un prix moins élevé.

L'oscillographe est renfermé dans une chambre

à travers laquelle passe la coulisse verticale de la plaque.

L'introduction de celle-ci se fait au moyen de châssis et d'écrans. Il est bon, afin de pouvoir aisément reconnaître la plaque et déterminer sans difficulté à quelle expérience elle se rapporte, de la numéroter avant l'introduction dans le châssis. Le numéro est, par exemple, indiqué sur le coin à droite, vers le bas, du côté de la gélatine.

La plaque est donc introduite dans l'oscillographe. Elle est maintenue dans sa position jusqu'au moment où l'observateur désire en faire usage. L'expérimentateur observe, *de visu*, le mouvement des ondes. Pour cela le faisceau lumineux est dirigé sur un miroir tournant, dont le rôle est analogue à celui des miroirs tournants de Kœnig dont nous avons parlé précédemment.

Le miroir est placé de telle façon que le mouvement s'effectue autour d'un axe horizontal; il est actionné par un petit moteur spécial.

C'est à l'aide de ce dispositif que l'on peut se rendre compte de la forme des ondulations; dès que ces dernières prennent un aspect particulier que l'on veut pouvoir étudier à loisir ultérieurement, on provoque le déclenchement du support de la plaque, laquelle glisse dès lors, sous l'effet de la pesanteur dans un plan vertical, c'est-à-dire perpendiculairement au plan d'oscillation du faisceau lumineux.

L'effet du miroir tournant sur les rayons lumineux tombant à sa surface est de produire, à raison de la persistance des images sur la membrane rétinienne, une bande lumineuse frangée.

Dès qu'en observant cette frange, l'expérimentateur constate qu'elle prend une forme particulière, il met, avons-nous dit, la plaque en mouvement; le faisceau lumineux trace dès lors sur celle-ci une courbe dont le développement dépend de la grandeur de la plaque.

La boîte contenant le système est pourvue d'une lentille cylindrique et d'une clef; une plate-forme lui est également adaptée pour l'ajustage de la lanterne. De même qu'avec la pellicule photographique, il est nécessaire, si l'on veut obtenir un bon cliché, de faire usage d'une source de lumière intense, telle qu'une lampe à arc par exemple.

La rapidité du déplacement de la plaque dépend des circonstances. Pour une fréquence de cinquante à soixante périodes, la vitesse moyenne de la plaque est de 4 mètres par seconde.

Des précautions spéciales sont naturellement prises quant à l'isolement, lorsqu'il s'agit d'employer l'appareil pour des courants de haut voltage; il est bon de monter l'instrument sur une table isolante appropriée.

La plaque photographique utilisée pour l'enregistrement est une plaque de 17.4 cent. sur 83 cent.; afin d'obtenir une surface plus grande, on peut substituer à la plaque une pellicule montée sur un tambour mis en mouvement par un petit moteur, ce qui donne une vitesse de déplacement plus uniforme que dans le cas précédent. L'appareil, grâce à la nature des pellicules employées se charge et se décharge en plein jour. Cette modification permet, en outre, de changer, dans des limites assez larges, la vitesse de rotation de la pellicule tout en conservant un mouvement bien uniforme. En somme, ce tambour avec pellicule est identique à la pellicule cinématographique pour ce qui est de la facilité d'enregistrement.

Une fois que la longueur de pellicule (40 centimètres) exposée à l'extérieur du tambour a été utilisée, on l'enroule sur l'une des bobines, tandis que l'on déroule la feuille de la seconde.

Nous avons donné précédemment la description générale de l'oscillographe. En réalité, différentes modifications ont été apportées à cette forme initiale et il existe quatre types d'instruments. Signalons, avant de passer à leur étude, que l'oscillographe est pourvu d'un système de réglage à l'aide duquel on peut procéder à l'orientation.

Dans une première forme d'oscillographe, le champ magnétique est produit par un puissant électro-aimant sur le noyau duquel est disposé un enroulement formé de huit sections. Le noyau, sous l'influence de l'excitation est saturé, de telle sorte que le réglage du courant d'excitation ne doit pas être mathématiquement exact. Des variations de 4 % peuvent se produire sans que la sensibilité de l'appareil en souffre de façon appréciable.

Les huit sections de l'enroulement sont normalement mises en série deux à deux et les extrémités de chacun des quatre groupes ainsi constitués sont reliées à des bornes qui permettent d'établir à volonté toutes les connexions désirables; pour un courant d'excitation à 100 volts, les huit enroulements sont mis en série; pour un courant à 500 volts, on met en parallèle

de part et d'autre deux groupes de deux sections en série; enfin, si l'excitation est prise sur une canalisation à 25 volts, les quatre groupes sont montés en parallèle. Si le voltage est notablement supérieur à 100 volts, on doit mettre l'appareil en série avec une résistance convenable; une lampe à incandescence de 110 volts peut suffire.

Cet instrument à boucle double est d'une grande précision et la durée de sa période est très faible; elle ne dépasse pas 0.0001 de seconde. On l'emploie avec l'un ou l'autre des trois systèmes d'enregistrement indiqués précédemment.

Cet oscillographe est muni d'un thermomètre destiné à donner la température de l'huile dans laquelle plonge le vibrateur; ce thermomètre est monté sur le dos du support de la boucle et son ampoule est introduite dans le métal, dans le voisinage immédiat des espaces où se trouvent les extrémités de la boucle constituant le vibrateur.

Afin de mettre autant que possible l'appareil à l'abri des poussières, on a pourvu les parties sensibles (vibrateur, etc.) d'une enveloppe hermétique, indépendamment de la cage recouvrant l'ensemble. Il faut, pour renouveler l'huile, enlever le couvercle, puis la petite lentille protégeant la surface, verser une ou deux gouttes de liquide et remettre enfin le tout en place en évitant soigneusement l'introduction de poussières et de bulles d'air.

On peut considérer parfois comme un inconvénient la nécessité de devoir disposer, pour l'excitation du champ, d'un courant de voltage approprié. C'est là, en effet, une servitude qui, dans certains cas, peut limiter l'emploi de l'oscillographe.

Aussi la "Cambridge Scientific Instrument Company", de Londres, qui a entrepris la construction des appareils Duddell, met-elle en vente un instrument enregistreur dans lequel l'électro-aimant du type précédent est remplacé par un aimant permanent. Il y a deux types d'instruments à aimant permanent. Dans le premier la boucle est simple. Cet oscillographe est plus compact que le premier; il est même plus sensible; par contre, la durée de la période est double de celle du précédent. Il est également d'un usage plus facile, étant plus robuste, et, à la différence de l'appareil de haute précision que nous avons décrit en premier lieu, il ne nécessite aucun courant d'excitation, c'est-à-dire qu'il est constamment prêt à fonctionner.

L'introduction de l'huile se fait au moyen d'une petite coupe, au dos de l'appareil.

De même que dans le type précédent, la distance normale de l'échelle est de 50 centimètres et l'amplitude de l'oscillation ne peut dépasser, de part et d'autre du zéro, une largeur de cinq centimètres. En règle générale, elle est de trois à quatre centimètres seulement, ce qui correspond à un courant de 0.05 à 0.10 ampère.

L'appareil, mis en série éventuellement avec une résistance convenable, peut être employé pour des tensions élevées.

La résistance que l'on emploie dans ce cas est constituée de différents châssis mis en série.

Chaque châssis a une résistance de 10.000 ohms et est formé d'un conducteur enroulé sur des tubes de porcelaine, au nombre de dix, formant autant de sections dans l'enroulement.

Les châssis peuvent être employés pour une tension de 3.000 volts; pour des voltages supérieurs, on en met plusieurs en série.

L'oscillographe du type 2 se prête particulièrement bien à l'étude des courants alternatifs de haut voltage, à raison de la facilité avec laquelle on peut réaliser les conditions d'isolement nécessaires; en outre, sa capacité électrostatique est faible. Ces qualités sont fort importantes, car il arrive souvent qu'il est impossible de mettre l'oscillographe à la terre et qu'il faut travailler avec une différence de tension de plusieurs milliers de volts entre l'oscillographe et la terre.

De même que pour l'oscillographe dont nous avons parlé en premier lieu, la société qui s'est chargée de la construction des appareils, met à la disposition des acheteurs un pied isolant à vis calantes, le tout en ébonite. Les vis calantes, au nombre de trois, sont pourvues au moyen de contre-écrous en fibre. Des tubes isolants servent également à l'introduction des conducteurs dans la boîte.

Comme nous le disions précédemment, cet appareil est très robuste; on a en constitué un type portatif, d'une grande simplicité, en lui adjoignant, dans une caisse, une lampe à incandescence, des résistances convenables et un miroir rotatif.

La lampe à incandescence peut être alimentée soit par le courant à étudier, soit par un courant indépendant.

Dans le premier cas, on la met en série avec les résistances; une clef est disposée sur le socle et permet de shunter la résistance, afin d'augmenter l'éclat lumineux de la lampe. Le faisceau de rayons est dirigé sur le miroir de l'oscillographe qui le réfléchit sur un second miroir plan; ce dernier est mis en mouvement de rotation soit à la main, au moyen d'une petite manivelle, soit mécaniquement, à l'aide d'un moteur électrique

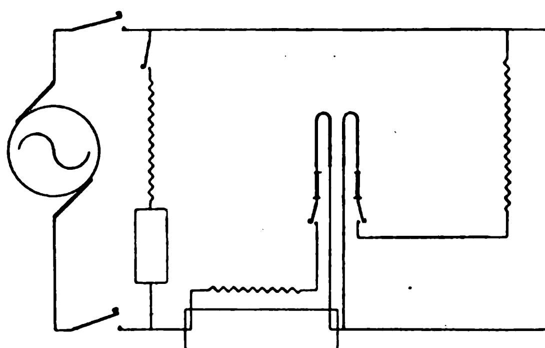


Fig. 3
Schéma du circuit à basse tension

à faible vitesse, disposition plus avantageuse, mais un peu plus compliquée.

L'ensemble est contenu dans une caisse de dimensions assez restreintes (l'oscillographe n'a lui-même que 20 c. de hauteur) et d'un poids relativement peu considérable.

Tel quel, il ne peut guère s'adapter qu'à des canalisations à 100 ou 200 volts, mais il est d'un usage très pratique. Le montage de l'installation se fait en effet beaucoup plus rapidement qu'avec les autres instruments.

Dans l'oscillographe que nous venons d'étudier, il n'y a qu'une boucle; dans un autre type, analogue au tout premier, à aimant permanent, la boucle est double, ce qui permet de relever à la fois deux mouvements ondulatoires.

Il nous paraît opportun de dire quelques mots au sujet de la façon dont on réalise les connexions électriques pour mettre l'appareil en station.

Dans les appareils à double boucle, il y a, sur le pied de l'oscillographe, quatre bornes au moins. L'une des boucles est mise en série dans le circuit du courant à étudier, l'autre, en dérivation sur la canalisation. Chacune de ces boucles est protégée par un fusible. L'installation se fait avec certains organes accessoires qui varient selon que l'on opère sur des circuits à basse (fig. 3) ou à haute tension (fig. 4.)

Dans le premier cas, la boucle shunt, qui sert à l'étude des potentiels, est en série avec une résistance self-induction destinée à régler l'appareil de façon qu'à une déviation d'un millimètre corresponde un nombre entier de volts. Cette disposition peut être employée jusqu'à 200 ou 250 volts. Au delà, le plan est un peu moins simple; on met alors en dérivation sur les deux conducteurs de la canalisation, deux résistances convenables: la

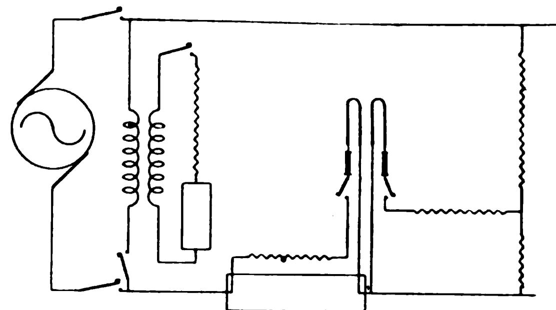


Fig. 4
Schéma du circuit à haute tension

premières de ces résistances doit avoir une valeur d'une dizaine d'ohms par volt, c'est-à-dire qu'avec une différence de potentiel de 10.000 volts, sa valeur totale doit être de 100.000 ohms approximativement; la seconde résistance a une valeur qui varie entre 100 et 200 ohms.

C'est au point de jonction de ces deux résistances que l'on relie la résistance de réglage dont il a été parlé ci-dessus, mis en série avec la seconde boucle.

Cette disposition a pour but de réduire à une valeur convenable la différence de potentiels entre les extrémités du vibrateur tout en permettant de régler l'instrument de façon qu'ici encore une déviation de 1 mm. corresponde à un nombre entier de volts.

La boucle série est destinée à l'observation du courant. Elle est en série dans le circuit; mais, afin que le courant qui la traverse ne soit pas trop fort, on la shunte par une résistance faible; ce shunt est appliqué aux bornes d'un groupe constitué de la boucle et d'une résistance, sans self-induction toujours, qui permet d'obtenir, ici encore, une déviation de 1 mm. pour un nombre entier d'ampères. C'est cette dernière résistance qui est d'abord réglée à une valeur convenable; l'autre, qui est dérivée sur la précédente et la boucle, n'est adaptée qu'ensuite; la constante de l'appareil s'obtient aisément, une fois connue la

déviation correspondant, dans le cas de l'absence de toute résistance shunt, à un ampère.

Il convient, enfin, que les connexions soient telles que la différence de potentiel entre les deux boucles ne dépasse jamais une cinquantaine de volts.

De ce qui précède, on déduit aisément la façon dont on réalise le montage quand une seule boucle est employée ; point n'est besoin d'insister à ce sujet; ce serait répéter ce qui vient d'être dit.

Le réglage des résistances se fait à l'aide du courant continu.

Dans l'appareil portatif, les connexions étant effectuées à demeure à l'intérieur de la boîte, le placement de l'appareil se fait sans aucune difficulté.

Aussi, comme nous l'avons dit déjà, cet oscillographe est-il extrêmement pratique. Pour s'en servir, il suffit de procéder de la manière suivante : On ouvre l'appareil et on enlève la plaque de bronze du devant de l'appareil ; cette plaque est remplacée par une autre, avec œillères en caoutchouc pour éviter l'introduction de rayons lumineux venant de l'extérieur ; la boîte est alors fermée ; toutefois il convient de laisser une certaine ouverture angulaire au bas pour permettre l'arrivée de l'air (courants de convexion) à la lampe électrique ; une tige à tête filetée est employée à cet effet. Une fois la position de la boîte convenablement réglée, on la fixe au moyen d'un écrou. On procède à la mise au zéro de l'échelle du ou des traits lumineux (selon que l'oscillographe est simple ou double) et, dès ce moment, l'instrument est prêt à être employé.

Une dernière forme d'oscillographe est le modèle à « projection » qui convient spécialement comme appareil de démonstration et d'enseignement.

Le circuit magnétique y est produit, comme dans le type numéro 1, par un électro-aimant ; l'enroulement est formé de douze sections, au lieu de huit, ainsi que cela a lieu dans le premier, et ces douze sections sont connectées en deux groupes (de six parties en série) que l'on met en parallèle pour des tensions de 100 volts, en série, pour celles de 200.

On peut, à l'aide de cet appareil, obtenir des images, à trois mètres de distance du miroir, atteignant une amplitude totale de 1 mètre.

Cet oscillographe se prête également à un mode d'enregistrement particulier dont nous n'avons pas parlé jusqu'ici et qui, dans quelques cas, peut présenter certains avantages.

Avant d'entrer dans sa description, disons que, pour ce qui est du procédé de projection, il suffit, au lieu de recevoir les rayons réfléchis par le miroir du vibrateur sur une plaque photographique ou une pellicule, de diriger ces rayons sur un second miroir, de plus grande taille, les projetant finalement sur un écran.

Les organes de projection, de même que l'oscillographe et la lanterne, sont montés sur un pied unique, de façon à rendre la manœuvre du système aussi aisée que possible.

A ce mode d'étude, il est quelquefois avantageux, avons-nous vu, de substituer un procédé d'enregistrement particulier qui consiste à tracer à la main la forme de l'onde.

Cette méthode s'applique avec succès quand il s'agit de relever la forme d'une ondulation de courant restant invariable, la fréquence ne changeant pas non plus.

On utilise à cet effet un petit miroir, animé d'un mouvement de rotation de vitesse convenable, qui renvoie vers le haut les rayons lumineux, et produit, sur un écran légèrement courbé, une image stable.

Le miroir est actionné par un moteur synchrone, alimenté par le courant que l'on se propose d'observer ou par un autre dont la fréquence soit absolument la même.

L'armature du moteur est un noyau de fer sans enroulement et l'instrument ne comporte aucun fil ou connexion mobile, susceptible de se détériorer par le fonctionnement.

Le mouvement de l'arbre du moteur est transmis au miroir par l'intermédiaire d'une came, dont la marche est telle que le miroir se déplace uniformément pendant 1 1/2 période, pendant laquelle se forme l'image sur l'écran ; pendant la dernière demi-période, le miroir reprend rapidement son emplacement primitif, en même temps qu'un secteur, mu également par le moteur synchrone, arrête les rayons lumineux, de façon que la courbe dessinée sur l'écran soit absolument fixe et puisse être dessinée à la main.

Pour mettre le miroir en mouvement, quand on veut se servir de cet appareil, on commence par dégager la came de l'arbre de l'armature ; puis, après s'être assuré que celle-ci est absolument libre, on ferme le circuit; le moteur démarre donc à vide ; au bout d'une demi-minute il a d'or-

dinaire atteint sa vitesse de synchronisme et l'on peut le mettre en charge, c'est-à-dire manœuvrer le levier qui amène le support du miroir au contact de la came motrice. Il est en général facile de reconnaître le moment où le synchronisme est réalisé et où on peut mettre le miroir en mouvement ; en effet, l'instrument produit, quand le rotor tourne à une vitesse voisine du synchronisme, un son particulier dû à ce que la fréquence du courant et celle de l'interrupteur coïncident à peu près. D'ailleurs, si la vitesse n'est pas convenable, le moteur ne fonctionne pas quand on lui donne sa charge et il faut l'en débarrasser, en dégageant à nouveau la came du miroir.

Le moteur comporte deux électro-aimants, un de chaque côté de l'armature, dont les enroulements sont connectés en série. Il peut fonctionner pour des fréquences assez différentes (variant entre 20 et 120) ; quant au voltage et à l'intensité du courant, ils doivent avoir également des valeurs appropriées. Le point de jonction des deux enroulements est relié à une borne d'attache, ce qui permet d'utiliser, selon les besoins, les bobines soit en parallèle, soit en série. Ce dernier montage est employé quand le voltage est élevé, et la fréquence faible; on emploie les enroulements en parallèle dans le cas contraire (voltage faible, fréquence grande).

Pour des fréquences variant entre 25 et 100 par seconde, les électro-aimants sont employés en série et le courant doit être de 0,75 à 1 ampère ; le cas échéant, une résistance est mise en série avec le moteur ; cette résistance n'est pas nécessaire en marche normale sur un circuit à 100 volts avec une fréquence de 100 à la seconde ; toutefois, il est à remarquer que l'on facilite considérablement le démarrage en adjoignant au moteur une résistance d'une cinquantaine d'ohms.

Ajoutons encore que dans les cas où la fréquence est inférieure à 40, il est bon d'augmenter l'inertie de l'armature : à cet effet, on lui adapte un disque de bronze spécialement destiné à cet usage. La résistance d'une cinquantaine d'ohms dont nous avons fait mention est fort nécessaire pour qu'on puisse arriver à la vitesse régulière ; un courant trop intense dans le moteur provoque en effet de fortes étincelles que la bobine additionnelle permanente dont est pourvu le moteur ne parvient pas à combattre et qui rendent impossible l'obtention de la vitesse de synchronisme.

Pour les voltages faibles ou moyens, le moteur synchrone peut être dérivé directement sur la canalisation ; mais quand le voltage est très grand, on doit recourir à l'emploi d'un transformateur ; le primaire de celui-ci est alimenté par le courant étudié ; le secondaire est en circuit avec les enroulements du moteur.

On peut se demander pourquoi une disposition analogue — emploi d'un transformateur — n'a pas été utilisée au lieu de celle que nous avons indiquée pour le montage de l'oscillographe et qui comporte, comme on l'a vu, plusieurs résistances de réglage.

La raison est qu'il arriverait que des variations dans la forme des ondes se produisant dans le primaire ne seraient pas sensibles dans le secondaire et passeraient inaperçues; on ne peut en conséquence conseiller de recourir au transformateur que si une grande exactitude n'est pas exigée.

Nous avons décrit ci-dessus le dispositif imaginé pour permettre à l'observateur de tracer lui-même la forme de l'onde étudiée, de façon à en obtenir l'image fidèle sans faire usage d'une plaque photographique. Il a été exposé comment, le moteur étant arrivé à la vitesse de synchronisme, on met l'arbre du miroir en contact avec la came, en manœuvrant un petit levier dont est pourvu l'appareil. Il arrive encore qu'à ce moment la courbe lumineuse apparaissant sur l'écran ne soit pas absolument invariable ; on lui donne la fixité voulue en modifiant la résistance en série avec le moteur. Ce système d'enregistrement est employé notamment avec l'appareil Duddell pour projection. Pour passer d'un procédé d'observation à l'autre, il suffit d'introduire sur le trajet des rayons une lentille appropriée et un écran et de modifier la position du moteur. Cette manœuvre se fait rapidement et ne présente aucune complication.

Qu'il nous soit permis de résumer les notes qui précèdent en signalant la caractéristique de chacun des types d'oscillographe.

Le premier est celui à double boucle employé pour les fréquences élevées ; il comporte un électro-aimant dont l'enroulement d'excitation possède à la température moyenne une résistance de 360 ohms. C'est à raison de la brièveté de sa période d'oscillation, qui atteint $\frac{1}{10000}$ de seconde, que cet appareil convient plus particulièrement pour les courants de grande fréquence. Les observations se font soit à la vue, soit au moyen d'une

plaque ou d'une pellicule, soit à l'aide du procédé décrit en dernier lieu. Ce type est à double boucle ; il donne deux courbes à la fois : celle du courant et celle du voltage, que l'on peut enregistrer simultanément.

Pour les tensions très grandes, il est préférable, parce que l'isolement se fait avec moins de difficulté, d'employer les types à aimant permanent, à boucle simple ou double ; le type n° 2, à aimant permanent et boucle simple combiné avec les accessoires convenables, constitue l'appareil portatif dont nous avons donné la description complète. Ces deux types (2 et 3) sont très sensibles ; la durée de leur période dépasse celle du type 1 ; elle est néanmoins suffisamment faible encore pour que l'appareil puisse être tenu pour fort exact. Quant à la sensibilité, nous dirons que, dans le type 2, un courant de 1 ampère produirait une déviation de 320 mm, et dans le type 3, une déviation de 290 mm. ; ce dernier chiffre est aussi celui du type 1. Ces nombres permettent de comparer la sensibilité des trois instruments, étant donné que la distance du miroir à l'échelle est la même pour tous (50 centimètres). Les types 2 et 3 s'emploient avec les mêmes procédés d'enregistrement que ceux auxquels se prête le type 1.

Le type n° 4, l'oscillographe pour projection, est à électro-aimant, avec un enroulement ayant une résistance totale de 650 à 700 ohms. La résistance du vibrateur est moindre que dans les trois premiers types : 1 ohm au lieu de 5 ; le vibrateur est protégé par des fusibles, comme dans le type n° 1, et à la différence des types 2 et 3. La durée de la période est beaucoup plus grande encore que dans le type n° 1 ; elle varie entre $\frac{1}{1800}$ et $\frac{1}{2000}$; cet instrument est spécialement destiné à l'enseignement ; il se vend également pourvu d'un dispositif d'enregistrement manuel.

En réalité, de quelque type qu'il s'agisse, l'oscillographe Duddell est un galvanomètre à bobine mobile à l'aide duquel on peut observer soit séparément, soit simultanément les variations se produisant dans le voltage ou l'intensité d'un courant irrégulier ou, plus spécialement, alternatif. Mais, en règle générale, au lieu de prendre note des modifications dans la grandeur de la déviation (ce qui d'ailleurs ne serait évidemment pas possible pour le courant alternatif ni pour des variations rapides) on fait tracer ces modifications par l'appareil lui-même et, afin qu'elles ne se superposent pas, on produit le déplacement continu et régulier de la plaque d'enregistrement, etc.

Les instruments à vibrateur double sont particulièrenent intéressants parce qu'ils donnent à la fois l'onde du courant et celle de la force électromotrice. Ils peuvent également être employés pour le tracé simultané de deux ondes de potentiel ou de deux ondes de courant. Ce sont, en somme, des appareils doubles à circuit magnétique commun. Ils sont pourvus d'un miroir donnant la ligne du zéro.

Nous ne croyons pas devoir passer sous silence quelques-unes des qualités particulières des oscillographes Duddell, qualités résultant du soin apporté à la construction.

Grâce au choix judicieux du métal employé, les différents appareils sont exempts des erreurs que produit assez fréquemment l'hystérésis ; la capacité et la self-induction sont pratiquement nulles, les oscillations amorties, de telle sorte qu'à chaque instant la déviation est proportionnelle au courant traversant la bobine.

Nous avons indiqué au début du présent article quelques-uns des usages principaux auxquels se prête l'oscillographe. Il est à peine nécessaire d'insister sur l'importance qu'il acquerra très rapidement sans aucun doute. Nombreuses sont les applications auxquelles il est susceptible de se prêter, sous quelque forme que ce soit.

Observées et retracées à mesure qu'elles se produisent, les irrégularités de voltage ou d'intensité de courant pourront enfin être étudiées avec une précision que n'eût pu donner aucune autre méthode. Cette étude ne peut manquer de conduire à des résultats de grande valeur.

Bien que, dans la pensée de son inventeur, l'oscillographe soit plus particulièrement destiné aux courants alternatifs, il est d'innombrables cas où il pourra, en dehors de cette catégorie de courants, rendre de fort bons services, tant au point de vue de la théorie, qu'à celui de la pratique pure.

Avec les appareils à double boucle, il est fort aisé, par exemple, de se rendre compte du décalage du courant par rapport à la force électromotrice et, en modifiant les résistances, etc., d'amener le facteur de puissance à une valeur convenable, caractérisée à l'oscillographe par une concordance à peu près parfaite des ondes de la tension et du courant. Très simplement aussi, en indiquant le décalage, l'appareil permet de déduire la valeur du facteur de puissance, d'où le rendement, etc.

Cette remarque se rapporte autant à l'étude des courants alternatifs eux-mêmes qu'à celle des condensateurs et des bobines de réaction; il serait aisé, on le conçoit, au moyen de l'oscillographe, de déterminer (toujours par la comparaison de l'onde de la force électro-motrice et de celle du courant tracées simultanément, c'est-à-dire par l'examen de l'angle de décalage), quelle est la capacité du condensateur, quel est le coefficient de self-induction de la bobine, etc.

Intercalons l'oscillographe dans un circuit de courant continu; fermons ce circuit : nous pourrons nous rendre compte par l'examen des courbes de la façon dont varient la force électromotrice le courant, etc.

Bien plus, telle est la réduction de la période du vibrateur que l'on pourrait suivre les variations, extrêmement rapides pourtant, du voltage et de l'intensité qui se produisent quand les arcs à courant continu font entendre le sifflement bien connu.

On s'est attaché tout d'abord à vérifier l'exactitude des tracés obtenus notamment par les procédés photographiques, c'est-à-dire que l'on a cherché à mettre en évidence jusqu'à quel point on peut déterminer la valeur de l'intensité ou de la tension par la mesure de la déviation du rayon lumineux de part et d'autre du zéro; cette mesure s'effectuant sur le cliché photographique.

La méthode de Joubert a permis de constater combien précises sont les indications de l'instrument. Les points déterminés par le procédé de Joubert coïncident presque parfaitement avec les courbes; les différences relevées sont si faibles qu'il n'est pas possible de dire à laquelle des deux méthodes doit être attribuée l'erreur.

Au surplus, les premières expériences faites à ce sujet furent effectuées au moyen d'un des oscillographes construits au début, dont la périodicité propre était notablement plus grande que celle des instruments que met actuellement en vente « la Cambridge Scientific Instrument Company ». La période des premiers appareils était, en effet, voisine de $\frac{1}{2700}$ de seconde; tandis que les appareils actuels destinés à la grande fréquence ont une périodicité de $\frac{1}{8000}$ à $\frac{1}{10000}$ de seconde. On peut donc arriver, la sensibilité restant la même, à une exactitude plus grande qu'à l'origine.

Des expériences de M. Field sur la résonance ont prouvé qu'il n'est pas désirable de procéder à la mise en charge et au retrait de la charge des alternateurs polyphasés de la façon dont on le fait généralement; mais que mieux vaut donner à la machine sa vitesse normale avant de l'exciter et inversement à l'arrêt; on évite ainsi de passer, ce qui arrive infailliblement avec les autres méthodes, par les maxima de résonance, lesquels pourraient porter gravement préjudice à l'isolement.

Nous parlions plus haut de la possibilité d'utiliser l'oscillographe à l'examen des variations du voltage et de l'intensité correspondant à la production du sifflement caractéristique des arcs. Cette application intéressante a été réalisée. Des essais de ce genre doivent se faire toutefois avec les appareils du type n° 1, si l'on veut conserver aux indications leur valeur mathématique.

D'autres phénomènes ont été étudiés encore; innombrables sont d'ailleurs les cas où peut être employé l'oscillographe. Citons, pour terminer cette note, une expérience intéressante à laquelle il a été procédé au moyen d'une lampe à arc avec crayons l'un de charbon, l'autre de cuivre, alimentée par un courant alternatif. Les courbes relevées (à l'aide de l'oscillographe n° 1, avec plaque tombante) prouvent que le courant ne peut circuler que dans un seul sens, du métal au charbon; l'arc ne brûle donc en réalité que pendant une demi-période; pendant l'autre demi-période il est éteint. Les ondes affectent en conséquence une forme absolument distincte de celles que l'on obtient avec un arc à deux électrodes de charbon.

E. G.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant: A. BONNET.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

ENROULEMENTS DES DYNAMOS A COURANT CONTINU *(suite)* (1)

III. — ENROULEMENTS IMBRIQUÉS

Ainsi que nous l'avons vu, au début de cette étude, dans l'enroulement imbriqué les pas y_1 et y_2 sont comptés en sens inverses. Comme dans le cas de l'enroulement ondulé, nous supposerons la génératrice origine 0, à droite de ωA et infiniment voisine de A. La force électromotrice de cette génératrice étant, par exemple, dirigée d'avant en arrière, il faudra, sur la face arrière, joindre la génératrice 0 à une génératrice M, située sur un arc ayant une polarité différente de celle de AB. Afin d'avoir des connexions de longueur minima, nous prendrons la génératrice M sur l'arc BC qui vient immédiatement après l'arc AB. Le pas y_2 devant être compté en sens inverse de y_1, il faudra réunir sur la face avant la génératrice M à une génératrice telle que Q située sur l'arc qui précède BC, c'est-à-dire sur le 1er arc AB, et ainsi de suite (fig. 9 *bis*).

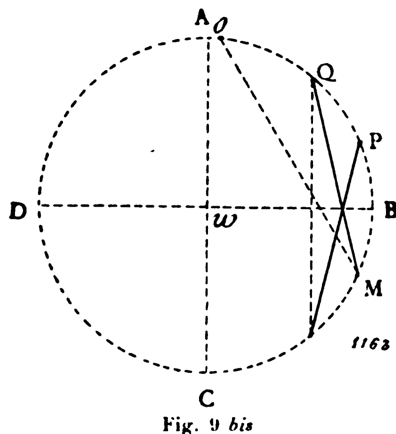


Fig. 9 *bis*

Si l'on projette un enroulement imbriqué sur l'une des faces de l'armature, on obtient, comme pour l'enroulement ondulé, un polygone étoilé, mais ici ce polygone est toujours irrégulier, car y_1 est différent de y_2.

(1) Voir les numéros 43 et 44 de l'*Eclairage électrique*.

**

Nous allons étudier les conditions auxquelles doivent satisfaire y_1 et y_2 :
Au point de vue géométrique,
Au point de vue électrique.

A. — CONDITIONS GÉOMÉTRIQUES. — Ces conditions sont les mêmes que pour l'enroulement ondulé et elles s'établissent de la même manière. Supposons tracé le polygone étoilé dont les N côtés dérivent alternativement de y_1 et y_2. Joignons les extrémités OQ, QP,.... On remplacera ainsi un polygone irrégulier de N côtés par un polygone régulier de $\frac{N}{2}$ côtés. Chaque côté du nouveau polygone sous-tend y_1-y_2 divisions. Il en résulte que y_1-y_2 et N ont 2 pour p. g. c. d., et que par suite $\frac{y_1-y_2}{2}$ et $\frac{N}{2}$ sont premiers entre eux. De plus, $\frac{N}{2}$ sommets de l'ancien polygone sont inutilisés dans le nouveau, et les divisions inutilisées sont toutes placées de la même façon par rapport aux divisions utilisées.

0, 2, 4........, sont utilisées
1, 3, 5........, ne le sont pas.

Comme y_1 n'appartient pas au nouveau polygone, y_1 est impair et par suite aussi y_2.

Dans tout polygone analogue à celui considéré, y_1, y_2 et N satisfont aux conditions suivantes :

$$\begin{cases} y_1 - y_2 \text{ pair, } \dfrac{y_1 - y_2}{2} \text{ et } \dfrac{N}{2} \text{ premiers entre eux.} \\ y_1 \text{ et } y_2 \text{ impairs.} \end{cases}$$

Inversement, si $y_1 - y_2$ et N remplissent ces conditions, on pourra tracer le polygone étoilé de N côtés, dont les côtés sous-tendent alternativement y_1 et y_2 divisions, les y_2 divisions étant comptées en sens inverse des y_1.

On le montre comme pour le cas de l'enroulement ondulé.

B. — ETUDE DE L'ENROULEMENT AU POINT DE VUE ÉLECTRIQUE. — Toutes les considérations que nous avons faites dans le cas de l'enroulement ondulé, au sujet des positions respectives des génératrices successives de l'enroulement, s'appliquent ici. En conservant les mêmes notations, nous avons :

génératrice	0)	$\alpha_0 = \varepsilon$	ε est infiniment petit
—	1)	$\alpha_1 = \varepsilon + y_1 \frac{2\pi}{N}$	
—	2)	$\alpha_2 = \varepsilon + (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N}$	
—	3)	$\alpha_3 = \varepsilon + [(y_1 - y_2) + y_1] \frac{2\pi}{N}$	
—	4)	$\alpha_4 = \varepsilon + 2(y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N}$	
....		....	
—	2n)	$\alpha_{2n} = \varepsilon + \frac{2n}{2} (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N}$	
—	2n + 1)	$\alpha_{2n+1} = \varepsilon + \left[\frac{2n}{2} (y_1 - y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N}$	
....		....	

Les génératrices 0, 1, ..., $2n+1$, resteront en tension avec la génératrice 0 tant que :

génératrice 1) $\frac{\pi}{p} < \varepsilon + y_1 \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$

— 2) $0 < \varepsilon + (y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p}$

— 3) $\frac{\pi}{p} < \varepsilon + [(y_1 - y_2) + y_1]\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$

....

— $2n-1$) $\frac{\pi}{p} < \varepsilon + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1 - y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$

— $2n$) $0 < \varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p}$

— $2n+1$) $\frac{\pi}{p} < \varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 - y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$

Comme on veut avoir au moins trois génératrices en tension, il faut que :

$$\frac{\pi}{p} < \varepsilon + y_1\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p} \quad \text{d'où l'on déduit :} \quad y_1\frac{2\pi}{N} \geqq \frac{\pi}{p} \quad \text{et} \quad y_1\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$$

$$0 < \varepsilon + (y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p} \quad \text{d'où} \quad (y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p} \quad \text{et} \quad y_1 - y_2 > 0$$

(car y_1 et y_2 diffèrent au moins de 1, même sans tenir compte des conditions géométriques).

Ces quatre conditions étant remplies, les premières parties des inégalités sont satisfaites quel que soit n. Considérons les inégalités générales :

génératrice $2n-1$) $\varepsilon + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1 - y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$

— $2n$) $\varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p}$

— $2n+1$) $\varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 - y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$

Si une inégalité relative à une génératrice paire $2n$) change de sens, il en est de même de toutes celles qui suivent, car $y_1\frac{2\pi}{N} \geqq \frac{\pi}{p}$ et $y_1 - y_2 > 0$.

Si une inégalité relative à une génératrice impaire $2n-1$) change de sens, les inégalités correspondant aux génératrices $2n+1$, $2n+3$, ..., changent aussi de sens, mais il n'est pas certain qu'il en soit de même pour les inégalités relatives aux génératrices $2n$, $2n+2$, ... En effet, on ne sait pas, *a priori*, si $y_2\frac{2\pi}{N}$ est $<\frac{\pi}{p}$. On est donc amené, comme pour l'enroulement ondulé, à distinguer deux cas :

Le nombre de génératrices de chaque circuit est pair.

Le nombre de génératrices de chaque circuit est impair.

α. — *Le nombre de génératrices de chaque circuit est pair.* — Soit $2n$ ce nombre. Comme les $2n$ génératrices doivent être toutes en tension dans chaque circuit, il faut que la première opposition de f. e. m. se produise à la génératrice $2n$). Les génératrices 0, 1, 2, ..., $2n-1$, seront alors en tension et formeront le premier circuit.

Pour qu'il y ait opposition à la génératrice $2n$), il faut que l'inégalité correspondante change de sens, l'inégalité relative à $2n-1$) conservant le sien.

Par suite on devra avoir :

$$\text{génératrice} \quad 2n) \qquad \gamma) \quad \varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} > \frac{\pi}{p}$$

$$— \quad 2n-1) \qquad \delta) \quad \varepsilon + \left[\frac{2n-2}{2}(y_1 - y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$$

De γ) on tire :

$$y_1 - y_2 > \frac{N}{2pn} - \frac{N\varepsilon}{2\pi n},$$

ce qui équivaut à :

$$y_1 - y_2 \geqq \frac{N}{2pn}$$

Nous prendrons :

$$(\lambda) \quad y_1 - y_2 = \frac{N}{2pn} \text{ [1]}$$

Portant cette valeur dans (δ), il vient :

$$y_1 < \frac{N(n+1)}{2pn} - \frac{N\varepsilon}{2\pi}$$

Cette condition est équivalente à la suivante :

$$(\mu) \quad y_1 < \frac{N(n+1)}{2pn} \text{ [2]}$$

Les conditions (λ) et (μ) étant remplies, la première opposition se fera bien à la génératrice $2n$). A partir de cette génératrice, on aura :

$$\text{génératrice} \quad 2n) \qquad \frac{\pi}{p} < \varepsilon + \frac{2n}{2}(y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$$

$$— \quad 2n+1) \qquad \frac{2\pi}{p} < \varepsilon + \left[\frac{2n}{2}(y_1 - y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$$

$$— \quad 2n+2) \qquad \frac{\pi}{p} < \varepsilon + \frac{2n+2}{2}(y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$$

. . . .

$$— \quad 2n+2q-1) \qquad \frac{2\pi}{p} < \varepsilon + \left[\frac{2n+2q-2}{2}(y_1 - y_2) + y_1\right]\frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$$

$$— \quad 2n+2q \qquad \frac{\pi}{p} < \varepsilon + \frac{2n+2q}{2}(y_1 - y_2)\frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p}$$

. . . .

La première de ces inégalités étant vérifiée, toutes les premières parties le sont aussi. Considérons les inégalités générales relatives aux génératrices $2n + 2q - 1$), $2n + 2q$. Remplaçons dans ces inégalités $y_1 - y_2$ par la valeur $\frac{N}{2pn}$. Pour que ces inégalités soient

---

[1] Voir les numéros 43 et 44.

[2] En effet :

1° Si on a $y_1 < \frac{N(n+1)}{2pn} - \frac{N\varepsilon}{2\pi}$, on aura, *a fortiori* $y_1 < \frac{N(n+1)}{2pn}$

2° Si $y_1 < \frac{N(n+1)}{2np}$, comme $\frac{N(n+1)}{2pn}$ est entier ($y_1 - y_2 = \frac{N}{2pn}$ = nombre entier), ainsi que y_1 et que $\frac{N\varepsilon}{2\pi} < 1$, on aura nécessairement :

$$y_1 < \frac{N(n+1)}{2pn} - \frac{N\varepsilon}{2\pi}$$

satisfaites, il faudra :

$$\text{génératrice } 2n + 2q - 1) \quad (\gamma') \qquad \varepsilon + \left[\frac{2n + 2q - 2}{2} \cdot \frac{N}{2pn} + y_1\right] \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$$

$$— \quad 2n + 2q) \qquad (\delta') \qquad \varepsilon + \frac{2n + 2q}{2} \cdot \frac{N}{2pn} \cdot \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p} \text{ ou : } \varepsilon + \frac{2\pi}{p} \cdot \frac{2n + 2q}{4n} < \frac{2\pi}{p}$$

L'inégalité (γ') s'écrit en faisant $2q = 2n$,

$$\varepsilon + \left[\frac{4n - 2}{2} \cdot \frac{N}{2pn} + y_1\right] \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$$

ce qui est vérifié si

$$y_1 < \frac{N}{2p} \cdot \frac{n + 1}{n} - \frac{N\varepsilon}{2\pi},$$

condition déjà trouvée pour le premier circuit.

On voit donc qu'en prenant :

$$y_1 - y_2 = \frac{N}{2pn} \text{ et } y_1 < \frac{N(n + 1)}{2pn}$$

la première opposition aura lieu à la génératrice $2n$, la deuxième opposition à la génératrice $2n + 2q = 4n$. On vérifie de même que la troisième opposition a lieu à la génératrice $6n$........ la $2p_1^{me}$ opposition à la génératrice $2p_1 \times 2p$, c'est-à-dire à la génératrice 0.

Remarque. — En prenant la génératrice 0 à gauche de ωA, on obtient par un raisonnement identique au précédent :

$$y_1 - y_2 = - \frac{N}{2pn}$$

avec la condition :

$$y_1 > \frac{N(n - 1)}{2pn}$$

La formule qui donne $y_1 - y_2$ est donc :

$$y_1 - y_2 = \pm \frac{N}{2pn}$$

Si nous voulons avoir $2p_1$ circuits comprenant chacun $2n$ génératrices toutes en tension $\left(\frac{N}{2p_1} = 2n\right)$, il faudra prendre :

$$\left\{ y_1 - y_2 = \pm \frac{N}{p \cdot \frac{N}{2p_1}} = \pm \frac{2p_1}{p} \right.$$

Les conditions auxquelles doit satisfaire y_1 deviennent :

$$\begin{cases} y_1 < \dfrac{N}{2p} \cdot \dfrac{\frac{N}{4p_1} + 1}{\frac{N}{4p_1}} \text{ ou } y_1 < \dfrac{N + 4p_1}{2p} \text{ (en choisissant le signe + pour } y_1 - y_2) \\ y_1 > \dfrac{N}{2p} \cdot \dfrac{\frac{N}{4p_1} - 1}{\frac{N}{4p_1}} \text{ ou } y_1 > \dfrac{N - 4p_1}{2p} \text{ (en choisissant le signe − pour } y_1 - y_2) \end{cases}$$

β) *Le nombre de génératrices de chaque circuit est impair.*

Soit $2n + 1$ ce nombre. Supposons déterminé l'enroulement comprenant $2p_1$ circuits, formés chacun de $2n + 1$ génératrices toutes en tension. Les génératrices étant numérotées

0, 1, 2......, les oppositions successives ont lieu aux génératrices $2n+1$, $4n+2$, $6n+3$......
On a les inégalités successives :

$$
\begin{array}{ll}
(1) & \varepsilon + y_1 \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p} \\
(2) & \varepsilon + (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p} \\
\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
(2n) & \varepsilon + \frac{2n}{2} (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p} \\
(2n+1) & \varepsilon + \left[\frac{2n}{2} (y_1 - y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N} > \frac{2\pi}{p} \\
\hline
(2n+1)' & \varepsilon + \left[\frac{2n}{2} (y_1 - y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p} \\
(2n+2) & \varepsilon + \frac{2n+2}{2} (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{2\pi}{p} \\
\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
(4n+1) & \varepsilon + \left[\frac{4n}{2} (y_1 - y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p} \\
(4n+2) & \varepsilon + \frac{4n+2}{2} (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N} > \frac{2\pi}{p} \\
\hline
(4n+2)' & \varepsilon + \frac{4n+2}{2} (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p} \\
(4n+3) & \varepsilon + \left[\frac{4n+2}{2} (y_1 - y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N} < \frac{4\pi}{p} \\
\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
(6n+2) & \varepsilon + \frac{6n+2}{2} (y_1 - y_2) \frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p} \\
(6n+3) & \varepsilon + \left[\frac{6n+2}{2} (y_1 - y_2) + y_1\right] \frac{2\pi}{N} > \frac{4\pi}{p} \\
\hline
 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{array}
$$

De $(4n+2)$ on déduit :

$$y_1 - y_2 \geqq \frac{N}{p\,(2n+1)}$$

Comme dans tous les cas précédents, on démontre que le signe = convient seul. Remplaçant dans $2n+1)$, $y_1 - y_2$ par sa valeur $\frac{N}{p\,(2n+1)}$, il vient :

$$(a) \qquad y_1 > \frac{N}{2p} \cdot \frac{2n+2}{2n+1} - \frac{N\varepsilon}{2\pi}$$

Remplaçant de même $y_1 - y_2$ par sa valeur dans $(4n+1)$, on a :

$$(b) \qquad y_1 < \frac{N}{p} \frac{2n+3}{2\,(2n+1)} - \frac{N\varepsilon}{2\pi}$$

et *à fortiori :*

$$y_1 < \frac{N}{2p} \frac{2n+3}{2n+1}$$

L'inégalité *(a)* peut s'écrire :

$$(a') \qquad y_1 \geqq \frac{N}{2p} \frac{2n+2}{2n+1} \text{ (}^1\text{)}$$

---

(1) En effet $\frac{N}{2p} \frac{2n+2}{2n+1}$ est entier $\left[\frac{y_1 - y_2}{2} = \frac{N}{2p(2n+1)} = \text{nombre entier (condition géométrique)}\right]$.
Comme y_1 est entier et que $\frac{N\varepsilon}{2\pi} < 1$, on a évidemment $y_1 \geqq \frac{N}{2p} \frac{2n+2}{2n+1}$.

Nous avons :

$$y_1 - y_2 = \frac{N}{p(2n+1)}; \text{ d'où : } \frac{y_1 - y_2}{2} = \frac{N}{2p(2n+1)} = \frac{2p_1}{2p} = \frac{p_1}{p} \text{ (car } \frac{N}{2p_1} = 2n+1)$$

Au point de vue géométrique, l'enroulement n'est réalisable que si $\frac{y_1 - y_2}{2}$ est premier avec $\frac{N}{2}$. Or :

$$N = 2p_1(2n+1) \text{ et } \frac{N}{2} = p_1(2n+1)$$

Le facteur p_1 doit donc disparaître dans le quotient $\frac{p_1}{p}$ et comme $\frac{y_1 - y_2}{2}$ doit être entier, on a forcément : $p_1 = p$.

Ceci démontré, considérons les inégalités

$$(b) \qquad y_1 < \frac{N}{2p} \cdot \frac{2n+3}{2n+1} \text{ ou } y_1 < \frac{p_1}{p}(2n+3)$$

$$(a') \qquad y_1 \geqq \frac{N}{2p} \cdot \frac{2n+2}{2n+1} \text{ ou } y_1 \geqq \frac{p_1}{p}(2n+2)$$

Comme $p_1 = p$, elles s'écrivent :

$$(b') \qquad y_1 < 2n+3$$

$$(a'') \qquad y_1 \geqq 2n+2$$

y_1 devant être un nombre entier impair, ces deux inégalités sont incompatibles. Il en résulte que les inégalités $(2n+1)$ et $(4n+1)$ ne peuvent être satisfaites en même temps, et que l'enroulement considéré $\left(\frac{N}{2p_1} \text{ impair}\right)$ est irréalisable. Il est impossible de réaliser des circuits contenant $2n+1$ génératrices toutes en tension dans chaque circuit.

Remarque I. — On aurait pu, pour montrer l'impossibilité de l'enroulement, considérer au lieu de l'inégalité $4n+1$, l'une quelconque des inégalités $8n+3$), $12n+5$.......

Remarque II. — On arrive à la même conclusion en prenant la génératrice 0 à gauche de ωA.

C. — RÉSUMÉ. — L'enroulement imbriqué n'est réalisable qu'avec $\frac{N}{2p_1}$ pair et $p_1 = p$ (cette dernière condition résulte de ce que $\frac{y_1 - y_2}{2}$ doit être premier avec $\frac{N}{2}$ (condition géométrique)].

Dans ce cas on a :

$$y_1 - y_2 = \pm \frac{2p_1}{p} = \pm 2 \left\{ \begin{array}{l} \frac{y_1 - y_2}{2} \text{ étant premier avec } \frac{N}{2} \\ y_1 \text{ et } y_2 \text{ impairs} \end{array} \right.$$

Il faut en outre que y_1 satisfasse aux conditions suivantes :

On prend le signe + dans la formule $y_1 - y_2 = \pm 2$ $\left\{ \begin{array}{l} y_1 < \frac{N + 4p_1}{2p} \text{ ou } y_1 < \frac{N}{2p_1} + 2 \\ y_1 > \frac{N}{2p} \quad \text{ou} \quad y_1 > \frac{N}{2p_1} \end{array} \right\}$ *ce qui équivaut à :* $y_1 = \frac{N}{2p_1} + 1$

On prend le signe — dans la formule $y_1 - y_2 + \pm 2$ $\left\{ \begin{array}{l} y_1 > \frac{N - 4p_1}{2p} \text{ ou } y_1 > \frac{N}{2p_1} - 2 \\ y_1 < \frac{N}{2p} \quad \text{ou} \quad y_1 < \frac{N}{2p_1} \end{array} \right\}$ *ce qui équivaut à :* $y_1 = \frac{N}{2p_1} - 1$

Justin MARQUEYROL
Ingénieur des Arts et Manufactures.

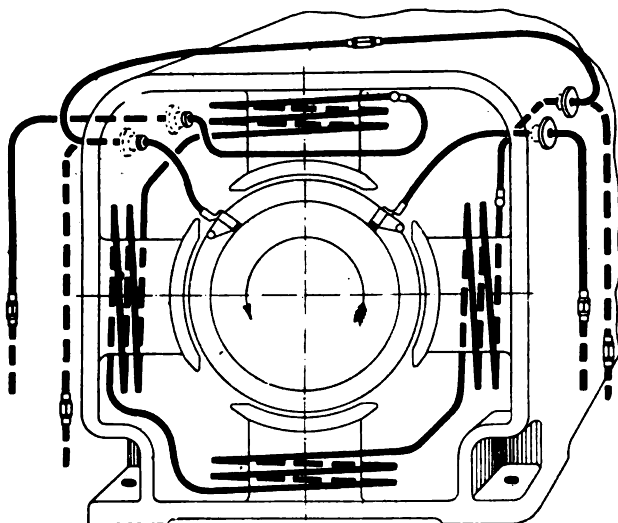
(*A suivre*)

LES NOUVELLES GRUES ÉLECTRIQUES DU PORT DE DOUVRES

Les avantages de la commande électrique appliquée à toutes espèces de grues, élévateurs, treuils et cabestans ont fini par attirer l'attention des ingénieurs qui en sont arrivés à reconnaître que le système électrique l'emporte en simplicité mécanique, en exactitude du contrôle, en vitesse, en économie de travail et en élasticité d'adaptation aux diverses conditions qui se présentent dans la pratique.

Un moteur électrique n'absorbe de force motrice, qu'en proportion du travail utile qu'on lui demande, à un moment quelconque, d'effectuer. Ce fait seul permet, en une journée moyenne de travail, une sérieuse économie sur le système hydraulique. Les témoignages de ceux qui ont essayé les deux systèmes sont d'accord à ce sujet.

Le système électrique donne un travail aisé, une marche douce et sûre, et dans le cas des grues de quais contraste favorablement avec les autres systèmes pour le temps requis pour détacher une grue des connexions, la déplacer et rétablir les connexions.


Moteur série des grues électriques de Douvres
Schéma des connexions

En général, dans les grues, la charge est intermittente et oscille beaucoup. Certains constructeurs ont cru, pour ce motif, qu'il suffisait d électro-moteurs de puissance beaucoup moindre que les efforts maximum demandés. Au point de vue de l'échauffement, cela peut paraître satisfaisant, mais à tous les autres points de vue, on ne peut considérer ces moteurs que comme très surchargés.

En matière de grues, des moteurs et controllers ordinaires seraient aussi déplacés que sur un tramway. Si l'on veut obtenir de bons résultats, les moteurs, controllers, freins, etc., doivent être spécialement constitués pour répondre aux exigences particulières de la commande des grues et des cabestans. Sous ce rapport, l'œuvre de la Société Siemens Frères et Cie, de Londres, et les grues qu'elle a récemment établies au port de Douvres, sont d'un grand intérêt. Les détails des moteurs ont été étudiés en tenant largement compte non seulement de la charge maximum actuelle qu'ils sont appelés à supporter, mais des surcharges exceptionnelles. En même temps, on a tenu compte, dans la constitution des parties où il n'y a à prendre en considération que les conditions thermiques, de l'intermittence des charges. De cette étude est né un moteur de grue peu coûteux, à l'épreuve de l'eau et de la poussière, compact, léger, et capable de résister à de grandes surcharges.

La question des moyennes est ici très importante. Les grandes et fréquentes fluctuations de charge que les moteurs de grues ont à supporter, font qu'il est difficile de décider sur la taille exacte du moteur ou même de spécifier une épreuve convenable de température.

Pour répondre à ces exigences, ladite Société construit divers types de moteurs.

Dans le premier modèle, la carcasse est rectangulaire et en fonte, avec des paliers en fonte, supportés par de larges sièges circulaires et boulonnés aux extrémités de la carcasse. Les paliers peuvent être facilement tournés pour que le moteur puisse être fixé sur une surface verticale ou horizontale, ou être suspendu. Les oreilles pour les boulons sont ménagées dans des encoignures de la carcasse et n'accroissent, par conséquent, pas les dimensions.

Les paliers sont à graissage annulaire et pourvus de dispositifs pour recueillir l'huile qui pourrait être répandue. L'arbre et les paliers sont amples pour transmettre toute la puissance du moteur et pour résister aux durs traitements imposés au moteur par l'application soudaine de fortes charges.

Les pôles sont rectangulaires, venus de fonte avec la carcasse et pourvus de pièces polaires lamellées faites de minces feuilles d'acier réunies par des boulons. Les pièces polaires servent à maintenir les bobines inductrices en place. Elles sont boulonnées à la carcasse avec des écrous extérieurs, sauf les pièces polaires inférieures qui sont retenues par des vis fixées dans le pôle. Chaque bobine inductrice peut donc facilement s'enlever. Il y a généralement 4 pôles.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des patrons et ensuite couvertes de plusieurs couches de bande isolante, vernies, etc. La protection est complète grâce à des pièces isolantes qui empêchent les bobines d'entrer en contact avec les parties métalliques du moteur.

L'induit est à revêtement de fer avec bobines logées dans des rainures ouvertes au sommet pour permettre l'enlèvement aisé des bobines en cas de réparation. L'enroulement est du type tambour avec extrémités bien ventilées. A tous les changements de section, l'arbre est pourvu de larges filets.

Le commutateur est fait de segments de cuivre durci maintenus en place par des encoches en V. Les porte-balais sont du type à boîte. Les balais sont appuyés sur la surface du commutateur par un sabot qui permet d'enlever le balai à volonté.

La transmission se fait par contre-arbre et engrenages.

Ces moteurs sont en série, ce qui leur assure un effort de torsion très considérable, sans absorption excessive de courant. La vitesse du moteur s'adapte, en outre, automatiquement à la charge ; elle est plus grande pour les faibles charges, plus petite pour les fortes charges.

Dans certains cas, il est pourtant utile de faire usage de moteurs compound, particulièrement lorsque la charge peut, à certains moments, être très faible, si faible qu'un moteur série donnerait lieu à une vitesse excessive.

Le choix ne peut se faire qu'en tenant compte de l'effort maximum qu'il peut être appelé à fournir, et de son facteur probable de charge. Ainsi, si l'effort maximum requis est de 38 chevaux et si l'on trouve que cet effort devra s'exercer pendant une demi-minute avec des intervalles de repos de 2 1/2 minutes, on aura le choix entre un moteur marchant à 240 tours, un autre à 350 et un autre à 580 tours par minute. Le voltage peut être de 110-220 et 440 volts.

Le second modèle de moteurs est destiné aux petites grues, c'est-à-dire qui n'exigent pas un effort de plus de 1/2 à 6 chevaux. Ces moteurs sont bipolaires. La carcasse est cylindrique, en fonte, avec pôles circulaires.

Quel que soit le moteur employé, il faut un controller. C'est la partie la plus importante de l'équipement électrique des grues et des cabestans, car de son bon fonctionnement dépend l'efficacité de toute la machine et, sous certains rapports, la sécurité du personnel.

***

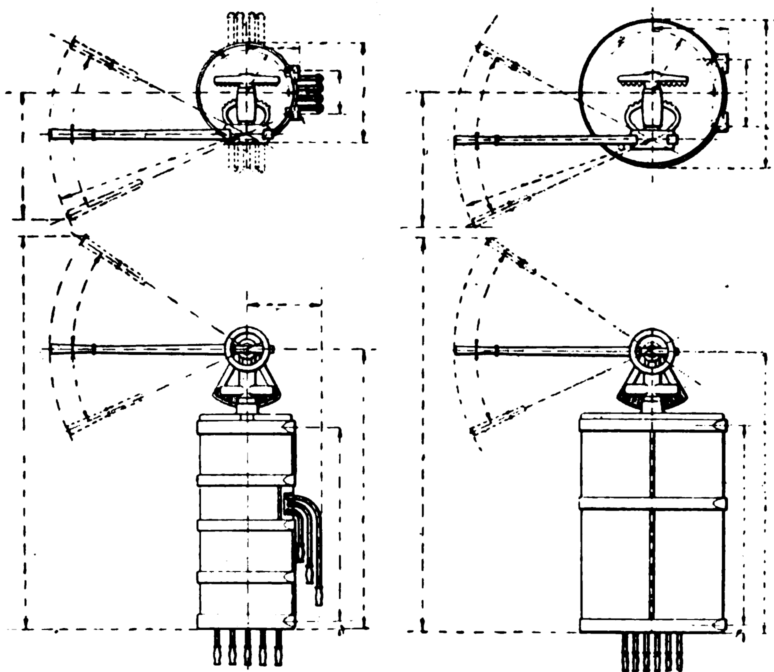
Le controller doit pouvoir marcher continuellement entre les mains de gens peu expérimentés, dans les conditions les plus dures et sans ratés. Pour satisfaire à ces exigences, il est essentiel qu'il n'y ait que peu d'usure aux contacts ; la production d'étincelles due aux ruptures incessantes du courant doit être empêchée ; la manœuvre doit être facile, de façon que l'attention du mécanicien puisse se porter exclusivement sur la charge ; enfin, l'appareil doit être compact pour convenir à la cabine étroite de la grue ou du cabestan.

Dans les controllers de la Société déjà citée, ces conditions sont remplies d'une façon complète. Toutes les parties sont d'un accès facile et la construction est excessivement simple. Le lourd système à encoches, si désagréable pour le conducteur, est supprimé.

Les contacts peuvent s'enlever en dévissant une seule vis. La forme des dents employées sur le tambour réverseur est telle que chaque dent peut se renouveler rapidement et facilement. Le remplacement d'un quelconque des contacts ou dents ou le changement de position d'un contact en vue de présenter un nouveau tranchant à l'arc, se fait en quelques secondes.

Du reste, en pratique, il n'est que rarement nécessaire d'enlever une de ces parties. Un souffleur magnétique d'étincelle empêche efficacement la production des arcs qui sont la cause principale des altérations.

Ces controllers peuvent fonctionner, suivant le cas, avec des courants de 50, 100, 200



Controller Universel des grues électriques de Douvres

ou 400 ampères. Les grands modèles sont pourvus d'un certain nombre de degrés « avant » et « arrière ».

Les types sont assez divers : droit, horizontal, à levier latéral, Universel vertical, Universel horizontal. Le type Universel convient généralement le mieux. Le mécanisme d'élévation et celui de déplacement circulaire sont alors actionnés par le même levier ; le mouvement de bas en haut du levier produit l'élévation ; le mouvement horizontal produit le mouvement circulaire. De cette façon, les deux moteurs peuvent être démarrés simultané-

ment par le mouvement d'un levier unique. De plus, les divers mouvements du levier correspondent au mouvement de la charge. Ainsi, le mouvement de bas en haut du levier produit l'élévation de la charge, celui de haut en bas, l'abaissement de la charge ; le mouvement vers la droite fait tourner la charge à droite ; le mouvement vers la gauche fait tourner la charge à gauche.

Le controller Universel horizontal est spécialement utile pour les grues roulantes. Le mouvement du levier correspond alors aux divers mouvements de la charge.

Les résistances de démarrage sont indépendantes et séparées des controllers. Elles servent en partie à augmenter le contre-poids de la flèche. Elles sont généralement placées hors de la cabine de la grue. Elles se composent d'éléments en forme de grille, faits d'un alliage de fonte. Les éléments sont à basse résistance, peuvent livrer passage à des courants intenses et fonctionner à de hautes températures. Ils sont montés sur des boulons isolants qui retiennent deux solides cadres. Les connexions sont en cuivre. Ces résistances peuvent fonctionner très longtemps sans souffrir de l'échauffement et permettent de faire marcher la grue à des vitesses réduites.

Toutes les grues doivent être pourvues et le sont, en effet, de dispositifs d'isolation et de sûreté que le conducteur puisse mettre en œuvre sans quitter son poste dans la cabine. On emploie à cet effet un tableau consistant en une plaque d'ardoise sans cadre, mais portée sur des supports à charnières qui permettent de le retourner à gauche ou à droite pour avoir accès à l'arrière. Le montage dépend grandement du genre de grue. En général le tableau porte un interrupteur d'isolement bipolaire à rupture rapide, un coupe-circuit automatique, un interrupteur à rupture rapide et fusible pour le circuit du moteur, un interrupteur avec fusible pour chaque circuit d'éclairage lorsqu'on le désire.

Le coupe-circuit automatique présente toute garantie pour le moteur d'élévation. On peut l'établir pour fonctionner instantanément à toute surcharge désirable.

Dans le cas où les grues doivent desservir des quais et des débarcadères, il est utile d'avoir le moyen d'établir rapidement les connexions entre le réseau électrique et les grues dans toutes les positions que ces dernières peuvent occuper.

L'appareil employé à cet effet consiste en un câble flexible, armé et à deux conducteurs. L'un des bouts est pourvu de deux œillets pour la liaison avec deux bornes renfermées dans une boîte de fonte placée vers le fond de la grue. L'autre bout est pourvu d'une fiche à deux languettes disposées pour coïncider avec le socket d'une quelconque des boîtes de jonction placées sur le quai. Chaque grue est pourvue d'un de ces câbles flexibles.

La boîte de jonction elle-même est en fonte avec un couvercle épais pourvu de filets qui prennent dans une rainure au sommet de la boîte et sont vissés sur une garniture de cuir ou de caoutchouc de façon à former un joint étanche. Lorsqu'il n'est pas en service, le socket qui reçoit la fiche est protégé par un solide capuchon adhérant au couvercle par un joint à baïonnette et formant avec lui un tout bien étanche.

Ces boîtes se placent sur les quais en tous points désirables et sont réunies par des embranchements souterrains aux feeders du quai. Chaque embranchement aboutit dans la boîte à une borne portée par un isolateur de porcelaine et en connexion, à travers un fusible, avec l'un des contacts porté lui-même par un isolateur de porcelaine.

L'une des principales caractéristiques des grues à commande électrique en général et de celles du port de Douvres en particulier, c'est la facilité avec laquelle s'effectue la commande automatique du frein. D'ordinaire, la grue est pourvue d'un frein qui est normalement appliqué au moyen d'un poids ou d'un autre dispositif mécanique et qui est immédiatement relâché dès que le courant commence à passer et maintenu dans cette position

pendant les opérations subséquentes. Lorsque le courant est de nouveau coupé, le frein revient automatiquement s'appliquer.

En constituant le mécanisme de contrôle d'une grue, il est d'ordinaire utile d'actionner le dispositif de freinage par une poussée droite. Le frein à solénoïde de Siemens Frères, de Londres, répond à ce desideratum.

L'électro sert à relâcher un frein à bande où la force de freinage est appliquée par la pesanteur ou par la tension d'un ressort.

L'électro est en série avec le moteur de commande. Le frein est desserré quand l'électro est suffisamment activé. L'électro consiste en une enveloppe de fonte et un piston à noyau. Entre les deux se trouve une bobine de cuivre qui sert de guide au piston et porte l'enroulement de l'électro. Le piston est attaché à une tige qui traverse un trou dans le support terminal et est pourvue d'un œillet pour l'articulation avec le frein à bande. Les connexions avec l'enroulement sont établies à travers deux trous bouchés au caoutchouc. Ce dispositif convient particulièrement en cas d'exposition en des endroits humides. En étoupant suffisamment le piston, on obtient un effet amortisseur pour la course intérieure, car l'air qui se trouve derrière le piston s'échappe par une petite lumière qui sert en même temps pour les matières de graissage.

L'électro est construit de façon qu'il n'y a pas de pertes magnétiques dues au voisinage des masses de fer.

D'ordinaire, la combinaison de l'électro et du frein consiste en une roue de freinage alésée de façon à convenir aux arbres du moteur et de deux sabots d'acier articulés avec un support qui doit être fixé dans une position bien ferme. Le sabot supérieur porte un électro comme celui qui vient d'être décrit et un système de leviers grâce auquel le mouvement du piston, lors de l'attraction, fait cesser la pression des sabots sur la roue de freinage. Les deux sabots sont garnis de bois qui se renouvelle sans peine et à peu de frais lorsqu'il est usé. Un dispositif permet de régler le fonctionnement des sabots eu égard à l'usure et tout en maintenant la constance de la course du noyau du solénoïde. Le courant est toujours identique. Un arrêt fixé au support retient les sabots à distance de la roue lorsque le frein est lâché.

La roue de freinage est construite de façon que la chaleur produite par le frottement des surfaces en contact s'en aille rapidement dans l'air et que l'arbre reste toujours froid. Le danger d'endommager les paliers se trouve par là évité.

Les deux nouvelles grues à flèche que l'on a récemment établies au Pier de l'Amirauté à Douvres sont construites sur le type qui vient d'être décrit. Elles portent les numéros 771 et 772. Elles ont été établies en vue de faciliter et d'accélérer le transbordement des bagages, malles et envois exprès entre les trains et les steamers du Pas-de-Calais. Elles sont destinées à élever les marchandises dans des paniers ou bennes d'un poids brut ne dépassant pas 3 1/2 tonnes.

La grue N° 771 a été établie au débarcadère N° 3 Est du Pier ; la grue N° 772 au débarcadère N° 1 Ouest, au-dessus du parapet du Pier.

Chacune de ces grues est construite pour élever une charge maximum ne dépassant pas 4 tonnes dans un rayon maximum de $16^{m}72$ et à pivoter ou se déplacer avec cette charge suspendue à la flèche, sans être bloquée ou retenue aux rails.

Chacune des grues a 4 mouvements : elle élève, pivote, se déplace ou change l'inclinaison de la flèche. Le rayon d'action peut atteindre $16^{m}72$. La flèche, particulièrement légère pour offrir peu de prise au vent, mesure $18^{m}24$ de longueur. L'écartement des rails est de $3^{m}04$. Le poids net de chaque grue en ordre de marche est de 53 tonnes.

Les grues ont été construites d'après les données de l'Ingénieur du Port de Douvres M. A.T. Walmisley. Les ingénieurs-conseils étaient MM. Preece et Cardew de Westminster.

Les grues ont été construites et les détails du mécanisme mis au point par M. Grafton et C°. des Usines Vulcan à Bedford. Comme nous l'avons déjà dit, l'équipement électrique a été fourni par Siemens Brothers et C°, de Londres.

La carcasse des grues est très simple. Elle est en acier doux Siemens-Martin. Toutes les transmissions sont en acier. Les engrenages à mouvement rapide sont taillés à la machine.

Le courant est fourni par la compagnie d'Electricité de Douvres au moyen de générateurs 500 volts pour tramways.

Les moteurs série, au nombre de deux sur chaque grue, sont destinés l'un à l'élévation l'autre aux trois mouvements restants. Le premier a une puissance de 37 H.P. à 420 tours par minute, l'autre une puissance de 18 H. P. à 310 tours par minute.

Comme les grues se trouvent dans un endroit très exposé, des précautions spéciales ont été prises pour le pivotement contre le vent. Les moteurs ont à cet effet une puissance plus grande qu'il ne la faudrait en d'autres circonstances.

Deux freins sont adaptés au dispositif élévateur. L'un est automatique et actionné par un électro comme nous l'avons dit plus haut, l'autre s'actionne par une pédale et peut arrêter la charge dans sa chute.

Le controller est du type Universel. La direction de la charge correspond à la direction de la main du mécanicien.

L'élévation d'une charge complète se fait à raison de 36^{m}48 par minute. Pour les charges inférieures, la vitesse est proportionnellement plus grande. La grue fait un tour complet sur elle-même en 40 secondes, ce qui correspond pour la tête de la flèche à un parcours de 106^{m}40.

A vide, la grue fait deux tours par minute. Le changement d'envergure du minimum au maximum se fait en une minute.

Enfin, le convoiement se fait à raison de 30^{m}40 par minute.

J. Reyval.

BREVETS

Les perles électriques. — Brevets Weismann.

Jusqu'à présent, l'appareillage électrique avait procédé des effets décoratifs obtenus déjà depuis de longues années avec l'appareillage au gaz : le bronze était la base et la matière première toujours employées pour ces applications. Il en résultait une certaine monotonie due aux mêmes modèles toujours recommencés avec quelques variantes introduites par les différents spécialistes. Les plus beaux spécimens de l'appareillage électrique sont copiés sur les modèles anciens relevant du style Louis XV ou Louis XVI. Quelques timides essais ont été faits pour l'emploi de cristaux taillés, mais il fallait toujours employer pour les motifs accessoires, le bronze, et les prix de revient étaient trop élevés.

M. Weismann vient d'imaginer un nouveau système d'appareillage électrique, exploité en France sous le nom de " Perles électriques " et en Allemagne sous le nom de " Perlen Licht ". Le nouveau système présente un véritable intérêt car il ne ressemble en rien à ce qui a été tenté jusqu'à ce jour.

M. Weismann est arrivé à dissimuler complè-

tement les conducteurs électriques, tout en supprimant les supports opaques et métalliques employés dans les systèmes d'appareillage électrique.

Les perles électriques sont constituées par un chapelet de perles en cristal ou en verre enfilées sur un fil métallique en cuivre qui sert de conducteur électrique : la figure 1 donne le dispositif général et le montage d'une lampe sur les deux conducteurs, formant les fils de polarités différentes.

Les perles $b_1 b_1$ et $b_2 b_2$, enfilées sur les conducteurs, viennent se toucher de façon à ne laisser aucune solution de continuité entre deux perles voisines. On comprend facilement qu'une isolation parfaite des conducteurs C est ainsi obtenue.

Pour brancher une lampe en dérivation, il suffit de faire une ligature (fig. 3) avec le fil de dérivation. Une perle spéciale, à trou conique, recouvre cette ligature et la dissimule aux regards.

Les fils de dérivation se terminent par un petit crochet K au-dessus duquel se trouve une grosse

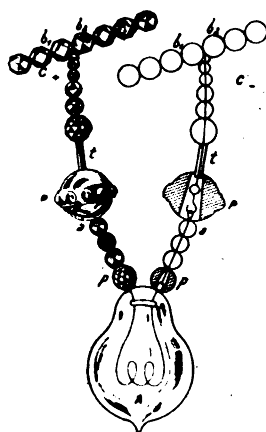


Fig. 1

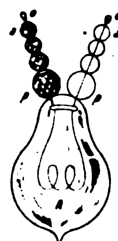


Fig. 2

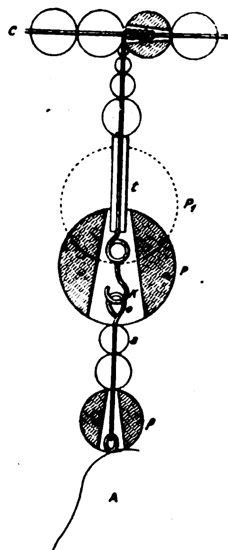


Fig. 3

perle p à trou conique pouvant coulisser autour de la tige de cristal t.

Pour brancher une lampe, il suffit de remonter la boule p en la plaçant dans la position p et d'enfiler l'anneau O terminant les fils d'attache de la lampe A à placer en dérivation. Par son propre poids la boule p retombe et dissimule aux regards le mode d'attache.

Comme on le voit, le système est très simple et présente de réels avantages qui sont les suivants :

1° Toutes les matières constitutives et isolantes sont incombustibles et insensibles à l'humidité.

2° Les pôles de nom contraire ne peuvent jamais se toucher ni se chevaucher, car ils sont toujours séparés l'un de l'autre par la gaîne épaissie des perles de cristal : un court-circuit est donc impossible.

3° Les extrémités des conducteurs sont toujours isolées par suite de la perle coulissante qui retombe dès que la lampe est retirée. On ne peut produire de court-circuit de ce fait.

4° Suppression complète de la douille qui bien souvent est la cause du non fonctionnement de la lampe ; trop souvent dans la douille à baïonnette le contact des pistons de la douille ne se fait pas sur le culot de la lampe, par suite de l'écrouissage des ressorts ou même il se produit de petits arcs locaux.

5° Les conducteurs offrent une grande surface de refroidissement, de sorte que l'échauffement n'est plus à craindre comme dans les conducteurs isolés au caoutchouc : la densité du courant peut être ainsi augmentée dans une certaine mesure, sans diminuer la sécurité ;

6° On peut augmenter le nombre de lampes sur un même appareil sans le modifier ni rien ajouter ;

7° Le montage est très simplifié, il en résulte une économie de pose.

Ces appareils sont plus légers que les appa-

reils ordinaires et très transportables, ils sont toujours prêts à recevoir le courant. On peut donc facilement et rapidement remonter des installations provisoires d'un très bel effet décoratif et sans aucune dégradation ;

8° Le système permet de transformer économiquement et rapidement tous les appareils à gaz existants ;

9° Les motifs décoratifs les plus variés et de tous styles sont facilement obtenus et un architecte ou un décorateur peut donner un dessin qui est rapidement exécuté. Il n'y a pas, en effet, à établir de coûteux modèles ni de moules spéciaux comme dans les appareils où le nickel joue un rôle. C'est ainsi qu'on a pu copier très exactement les guirlandes de style ancien, Louis XVI, style Empire, etc.

Tous ces motifs peuvent être exécutés rapidement n'importe où ; il suffit d'avoir à sa disposition du fil de cuivre et des perles en verre. Cet avantage est très important pour les pays où l'appareillage, n'étant pas fabriqué, paye de forts droits de douane.

Tous les avantages qui précèdent sont d'ordre technique ; mais il faut signaler ceux qui résultent du meilleur éclairage obtenu en employant les motifs de perles électriques spécialement sur les glaces. En dehors de l'effet décoratif tout à fait heureux ; on obtient, dans ce cas, un éclairage de la glace en plan tandis qu'avec les autres appareils on n'obtient qu'un éclairage en biais. De sorte qu'on réalise un éclairement plus fort en dépensant moins d'énergie électrique.

Enfin, on obtient facilement l'éclairage au moyen de nappes lumineuses au lieu de points lumineux ; cet éclairage est plus décoratif et fatigue moins la vue.

Les dessins encartés permettent de se rendre un compte exact des effets décoratifs obtenus.

L'on peut dire que, dans cet ordre d'idées, le procédé d'éclairage des perles électriques Weismann n'a pas de rival tant au point de vue de l'effet décoratif qu'au point de vue de l'effet lumineux.

La planche n° 58 montre une frise Louis XVI en perles électriques Weismann et en indique le détail.

Les planches 54 et 56 indiquent les applications du système à la décoration et à l'éclairage des glaces. Nous ferons remarquer particulièrement la planche 55 qui réalise des stalactites lumineuses, et au-dessus, le motif central qui est un dessin de demi-lustre donnant absolument l'illusion d'un lustre entier par la réflexion de la glace ; cette illusion est due à l'absence de tout métal ou lustre opaque.

Les prix des lustres qu'on obtient avec ce système sont vraiment remarquables. C'est ainsi que la guirlande de la planche 58 coûte 50 francs le mètre, compté horizontalement entre points extrêmes d'accrochage ; le motif de la planche 55 revient à 150 francs le mètre et le demi-lustre à 120 francs. Enfin, le motif décoratif de la planche 54 à 175 francs. Nous indiquons ces prix pour bien montrer que ce système très décoratif est en même temps économique et constitue un réel progrès dans l'industrie de l'appareillage électrique.

P. Dupuy.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur la séparation des pertes dans les machines à courant continu. — **Cramer.** — Electrotechnische Zeitschrift, 18 août.

La détermination des différentes pertes dans une machine à courant continu est un travail très compliqué. Malgré toutes les règles employées dans les essais, on fait fréquemment des erreurs dans la répartition des pertes qui se produisent dans la marche à vide.

Dans les méthodes connues, on décompose les pertes totales en trois parties correspondant à l'hystérésis, aux courants de Foucault et aux frottements de l'air, des coussinets et des balais. En plus de ces pertes, il peut encore s'en produire d'autres occasionnées par les courants de Foucault dans le cuivre de l'induit, dans les frettes, dans les tôles maitresses, dans les masses polaires et dans l'arbre, sans compter les pertes dues à la commutation. Toutes ces pertes figurent dans le

compte d'une des trois sources de pertes ci-dessus et donnent une idée fausse du phénomène.

On manque d'une méthode simple permettant la séparation des pertes ; nous allons donner quelques indications à ce sujet.

Dans un moteur tournant à vide, il existe entre la différence de potentiel e aux bornes et la puissance absorbée à vide p_0 la relation :

$$p_0 = a + e^x \qquad (1)$$

a étant une constante (puissance absorbée par les frottements), et x un nombre positif. On suppose que, pour une tension et une excitation variables, la vitesse de rotation est constante. Si l'on détermine l'intensité de courant à vide i_0 et qu'on en porte les valeurs en fonction de la différence de potentiel aux bornes, on obtient une courbe qui tend des deux côtés vers l'infini. Entre cette courbe et celle qui exprime l'équation (1), il existe la relation suivante qui, pour le point où la courbe de courant passe par son minimum, est particulièrement intéressante.

On a

$$i_0 = \frac{p_0}{e} = ae^{-1} + e^{x-1} \qquad (2)$$

Le minimum de cette fonction se produit pour une valeur de e donnée par l'équation :

$$\frac{di_0}{de} = (x-1)e^{x-2} - ae^{-2} = 0$$

ou

$$e = \sqrt{\frac{a}{x-1}} \qquad (3)$$

Si l'on applique les équations générales à notre cas particulier, on obtient, pour la puissance à vide, l'équation :

$$p_0 = a + c_1\nu B^{1,6} + c_2(\nu B)^2 \qquad (4)$$

où ν désigne la fréquence, B l'induction dans le fer de l'induit, c_1 et c_2 des constantes.

D'après les lois de l'induction, la tension e qui, dans la marche à vide, est identique à la f. e. m, est liée à l'induction B par la relation :

$$e = KB$$

L'équation (4) peut donc être écrite sous la forme suivante :

$$p_0 = a + c_1\nu\left(\frac{e}{K}\right)^{1,6} + c_2\left(\frac{\nu e}{K}\right)^2 \qquad (4a)$$

d'où l'on tire finalement l'équation du courant à vide :

$$i_0 = ae^{-1}\frac{c_1\nu}{K^{1,6}}e^{0,6} + \frac{c_2\nu^2}{K^2}e \qquad (5)$$

Le courant à vide résulte de trois composantes qui, interprétées graphiquement, donnent une hyperbole, une courbe exponentielle, et une droite.

Le minimum de la fonction $i_0 = \varphi(e)$ est donné par l'équation :

$$\frac{di_0}{de} = -ae^{-2} + 0,6\frac{c_1\nu}{K^{1,6}}e^{-0,4} + \frac{c_2\nu^2}{K^2} = 0$$

ou

$$0,6\frac{c_1\nu}{K^{1,6}}e^{1,6} + \frac{c_2\nu^2}{K^2}e^2 = a.$$

En posant :

$$\frac{c_1\nu}{K^{1,6}} = M^1 \quad , \quad \frac{c_2\nu^2}{K^2} = N^1$$

$$M^1K^{1,6} = M \quad , \quad N^1K^2 = N$$

on obtient

$$0,6\,M^1e^{1,6} + N^1e^2 = a$$

et finalement

$$0,6\,MB^{1,6} + NB^2 = a. \qquad (6)$$

Cette équation montre que la valeur minima du

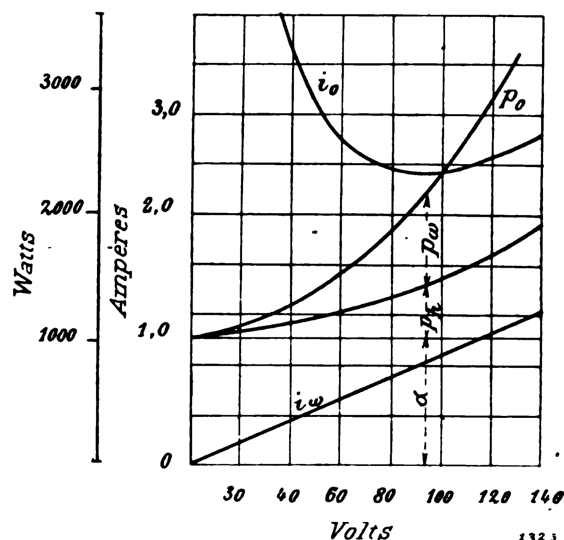


Fig. 1

courant à vide se produit lorsque les pertes par frottements sont égales aux pertes par courants de Foucault plus 60 % des pertes par hystérésis.

Ce fait conduit à une méthode permettant de séparer approximativement les pertes d'une façon simple.

On détermine directement ou indirectement $p_0 = f(e)$ pour une vitesse de rotation constante ; on trace la courbe correspondant à cette fonction et la courbe de courant dont le minimum indique le point correspondant à l'équation 6.

On peut alors déterminer les différentes pertes

pour ce point, car a et p_1 sont donnés et les pertes par courant de Foucault p_w et les pertes par hystérésis p_h sont calculables.

Pour séparer de même les pertes à d'autres tensions, on calcule les courants correspondant aux pertes ci-dessus en les divisant par la tension correspondante au minimum, puis l'on s'appuie sur l'équation 5 dont la composante i_m relative aux courants de Foucault, est une droite. Nous avons supposé que les seules pertes dans la machine étaient les pertes dans le fer de l'induit et les pertes par frottement. Si une machine n'obéit pas à la loi qui résulte de l'équation (6), on peut être sûr qu'il existe d'autres pertes que celle correspondant à l'équation (4).

Comme exemple, nous avons donné (fig. 1) les courbes de décomposition des pertes d'une machine citée par Arnold (tome 2, page 521).

E. B.

***Sur les décharges électriques dans les liquides.* — Karl Przibram.**—Physikalische Zeistchrift, 15 sept.

Tandis que les décharges dans les gaz ont fait l'objet d'un grand nombre d'études, les décharges électriques dans les liquides ont été, jusqu'à présent, l'objet de peu de recherches. Les renseignements sur la rigidité diélectrique de substances nettement définies et sur la relation entre la rigidité diélectrique et la constitution chimique font tout à fait défaut. Le tableau suivant n'a pas pour but de remplir cette lacune, mais nous semble présenter un certain intérêt.

Les expériences ont été faites avec une bobine d'induction; les électrodes, complètement immergées dans le liquide, étaient constituées par un fil de platine enrobé dans du verre jusqu'à quelques millimètres de son extrémité, et un disque portant un fil d'amenée de courant isolé.

Les chiffres indiqués représentent la valeur moyenne de la plus grande longueur d'étincelle possible ; la première colonne est relative au cas où la pointe est positive (étincelle positive) et la deuxième colonne au cas où la pointe est négative (étincelle négative).

Les substances essayées ont été distillées tout de suite avant l'expérience, et leur point de fusion contrôlé.

Les conclusions que l'on peut tirer de l'examen de ce tableau sont les suivantes :

1° Dans une série homogène, la longueur d'étincelle diminue avec l'augmentation de poids moléculaire, et cela plus vite pour les étincelles positives que pour les étincelles négatives (carbures d'hydrogène de la série de la paraffine et du benzol ; aniline et orthotoluidine).

Dans les alcools, les conditions changent à cause de la conductibilité des termes inférieurs qui empêche la formation de longues étincelles (étincelle extrêmement courte dans l'alcool méthylique).

2° La présence d'un atome halogène ou d'un atome du groupe NH^2 produit, pour le benzol, une augmentation importante de la longueur d'étincelle, surtout positive.

3° Les composés oxygénés aussi semblent donner lieu à des étincelles plus longues que les carbures d'hydrogène correspondants (alcool amylique et pentane) ; les étincelles négatives sont aussi longues ou même plus longues que les étincelles positives.

TABLEAU

SUBSTANCE	FORMULE	Longueur d'étincelle	
		positive	négative
Pentane	C^5H^{12}	24—25	8—9
Hexane	C^6H^{14}	23	8
Heptane	C^7H^{16}	22	8
Octane	C^8H^{18}	10—11	7—8
Benzol	C^6H^6	13	9—10
Tolnol	C^7H^8	13	9
Xylol, ortho	C^8H^{10}	8—9	8
Xylol ordinaire : mélange de disomères	C^8H^{10}	9—10	8—9
Cumol	C^9H^{12}	7—8	7—8
Cymol	$C^{10}H^{14}$	5—6	5—6
Chlorobenzol	C^6H^5Cl	30	18
Bromobenzol	C^6H^5Br	30	19
Iodobenzol	C^6H^5J	27	18
Aniline	C^6H^7N	30	11
Ortho-toluidine	C^7H^9M	18	11
Monométhylaniline	C^7H^9N	17	14
Diméthylaniline	$C^8H^{11}N$	7	6
Diéthylaniline	$C^{10}H^{15}N$	8	18
Alcool méthylique	CH^7O	2	2—3
Alcool éthylique	C^2H^6O	42	42
Alcool propylique	C^3H^8O	45—47	45—47
Alcool butylique	$C^4H^{10}O$	47	50
Alcool amylique	$C^5H^{12}O$	44—45	50
Chloroforme	$CHCl^3$	60	38
Acétone	C^3H^6o	49	69
Acétylacétone	$C^5H^8O^2$	8	56
Ethyle acétique	$C^4H^8O^2$	26	26
Butyrate de méthyle	$C^6H^{12}O^2$	30	32
Safrol	$C^{10}H^{10}O^2$	10—12	8—10
Isosafrol	$C^{10}H^{10}O^2$	12—14	12
Brome	Br^2	6—9	6—7

* * * *

Tous les liquides organiques donnent à la décharge une plus ou moins grande quantité de gaz, non seulement sous l'effet de l'étincelle, mais aussi sous l'effet d'une décharge par effluves. Dans ce cas, la production de gaz n'a pas lieu, comme dans l'électrolyse, uniquement aux électrodes, mais tout du long du chemin suivi par la décharge, comme on peut le montrer d'une façon très nette avec la glycérine. Dans ce liquide, on obtient, entre une pointe et un disque, de beaux effluves positifs et négatifs. Par suite de la grande viscosité, les petites bulles de gaz produites restent quelques minutes à leur place primitive et permettent de suivre, dans ses moindres détails, le chemin suivi par la décharge.

E. B.

TRANSMISSION & DISTRIBUTION

***Le calcul des courants alternatifs sans supposer les coefficients de self-induction constants.* Spielmann.** Zeitschrift für Electrotechnik, 14 août.

On a l'habitude de supposer, à la base des études théoriques sur les courants alternatifs, que le coefficient de self-induction est constant. Cette hypothèse n'est admissible, avec une certaine approximation pour les circuits en relation électro-magnétique avec des masses de fer que lorsque ces dernières sont faiblement saturées. Mais, même dans ce cas, l'hypothèse de la constance du coefficient de self-induction peut conduire souvent à des erreurs graves dans les calculs, particulièrement lorsque la f. e. m. contient des harmoniques de grande amplitude. Dans ce qui suit, nous allons essayer d'établir une méthode permettant un calcul exact des circuits à courants alternatifs en liaison avec des fers de propriétés magnétiques connues.

Il faut trouver une expression en série de Fourier pour déterminer le courant dans un circuit contenant une bobine de self-induction dans laquelle est placé un noyau appartenant à un circuit magnétique que l'on peut calculer avec une exactitude suffisante. Le calcul doit être fait d'abord en supposant que la f. e. m. est purement sinusoïdale en fonction du temps et en ne tenant pas compte des phénomènes d'hystérésis.

On a l'habitude de représenter le courant i provoqué par la f. e. m. E sinus (ωt) dans un circuit de résistance r et de coefficient constant de self-induction L sous la forme :

$$i = \frac{E}{\sqrt{r^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t - \varphi) \qquad (1)$$

que l'on déduit de :

$$i = \frac{Er}{r^2 + (L\omega)^2} \sin(\omega t) - \frac{EL\omega}{r^2 + (L\omega)^2} \cos(\omega t) \qquad (2)$$

en posant : $\frac{L\omega}{r} = \operatorname{tg} \varphi$. Un courant de forme quelconque peut être exprimé par la série de Fourier :

$$i = A_1 \sin(\omega t) + A_2 \sin(2\omega t) + A_3 \sin(3\omega t) + \ldots\ldots$$
$$+ B_1 \cos(\omega t) + B_2 \cos(2\omega t) + B_3 \cos(3\omega t) + \ldots\ldots$$

Les constantes

$$A_1, A_2, A_3 \ldots\ldots \quad B_1, B_2, B_3 \ldots\ldots$$

peuvent être représentées comme fonctions d'autres constantes :

$$a_1\, a_2\, a_3 \ldots\ldots \quad L_1\, L_2\, L_2 \ldots\ldots,$$

sous une forme analogue à celle des coefficients de sinus (ωt) et cos (ωt) dans l'équation 2.

La relation entre deux constantes A_n et B_n appartenant à des termes de même période et les constantes a_n et L_n à introduire à leur place est donnée par les équations suivantes :

$$A_n = \frac{a_n r}{r^2 + (nL_n\omega)^2} \qquad (4)$$

$$B_n = -\frac{nEL_n\omega}{r^2 + (nL_n\omega)^2} \qquad (5)$$

où rien n'est changé relativement à l'indépendance des constantes entre elles. Supposons encore que $a_1\, a_2\, a_3 \ldots\ldots$ sont indépendantes de la self-induction, et que $L_1\, L_2\, L_3 \ldots\ldots$ ne dépendent que de la self-induction et prennent toutes la valeur zéro lorsqu'il n'y a pas de self-induction.

La série (3) prend la forme :

$$i = \frac{a_1 r}{r^2 + (L_1\omega)^2} \sin(\omega t) + \frac{a_2 r}{r^2 + (2L_2\omega)^2} \sin(2\omega t) + \frac{a_7 r}{r^2 + (3L_3\omega)^2} \sin(3\omega t) + \ldots\ldots$$
$$- \frac{EL_1\omega}{r^2 + (L_1\omega)^2} \cos(\omega t) - \frac{2EL_2\omega}{r^2 + (2L_2\omega)^2} \cos(2\omega t) - \frac{3EL_3\omega}{r^2 + (3L_3\omega)^2} \cos(3\omega t) - \ldots\ldots \qquad (6)$$

nous allons montrer comment ou détermine $a_1\, a_2\, a_3 \ldots.$ et $L_1\, L_2\, L_3 \ldots..$

Pour un circuit à courant alternatif qui contient une bobine de self-induction de z tours, et, en appelant K le nombre des lignes de force tra-

versant la section de la bobine, on a l'équation différentielle :

$$E \sin(\omega t) = ir + z\frac{dk}{dt} \qquad (7)$$

S'il n'y a pas de self-induction :

$$i = i' = \frac{E}{r}\sin(\omega t) \qquad (8)$$

Dans ce cas, l'équation 6 prend la forme suivante :

$$i' = \frac{a_1}{r}\sin(\omega t) + \frac{a_2}{r}\sin(2\omega t) + \frac{a_3}{r}\sin(3\omega t) + \dots \qquad (9)$$

on tire de (8) et (9) :

$$\frac{E}{r}\sin(\omega t) = \frac{a_1}{r}\sin\omega t + \frac{a_2}{r}\sin(2\omega t) + \frac{a_3}{r}\sin(3\omega t) + \dots \qquad (10)$$

Cette équation est satisfaite pour le système de valeurs :

$$\begin{cases} a_1 = E \\ a_2 = a_3 = a_4 = \dots\dots = 0 \end{cases}$$

Pour déterminer les grandeurs $L_1 L_2 L_3 \dots$ posons $r = 0$.

L'équation 6 se transforme en :

$$i = i'' = -\frac{E}{L_1\omega}\cos(\omega t) - \frac{E}{2L_2\omega}\cos(2\omega t) - \frac{E}{3L_3\omega}\cos(3\omega t) - \dots \qquad (11)$$

i'' peut être représenté graphiquement en fonction de t de la manière suivante. Si on introduit dans l'équation 7 la valeur $r = 0$, on obtient :

$$E\sin(\omega t) = z\frac{dk}{dt} \qquad (12)$$

$$k = \frac{E}{z}\int \sin(\omega t)dt \qquad (13)$$

Comme on doit admettre que le fer n'a pas de magnétisme rémanent et que, par suite, la constante d'intégration est nulle, il vient :

$$k = -\frac{E}{z\omega}\cos(\omega t) \qquad (14)$$

Supposons maintenant que, pour le circuit magnétique auquel appartient le noyau de fer de la bobine d'induction, le flux soit déterminé comme d'habitude en fonction du nombre d'ampères-tours magnétisants et représenté par une courbe (fig. 1). De cette courbe et de l'équation 14 on peut déduire, dans le cas où $r = 0$, la courbe de courant en portant le temps en abscisses, en déterminant dans l'équation 14 pour les différentes valeurs de t les valeurs correspondantes de K et en portant en ordonnées les valeurs correspondantes de i'' prises sur la fig. 1. On obtient comme résultat une courbe tracée en I dans la fig. 2. La fonction représentée par cette courbe est identi-

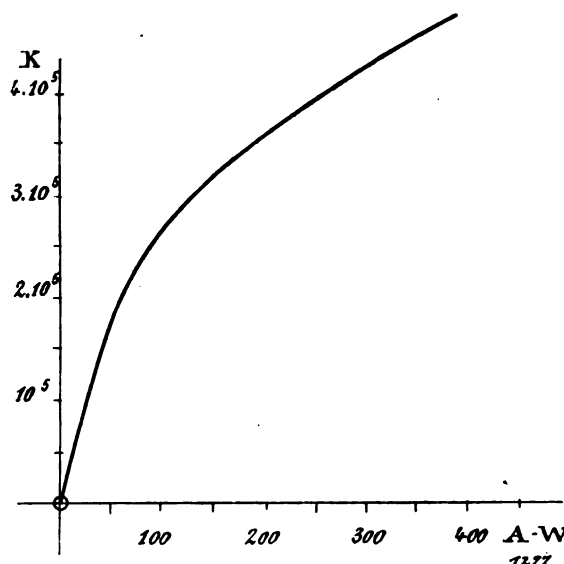


Fig. 1

que à celle qu'exprime l'équation II. En décomposant cette courbe (I fig. 2) d'après la méthode ordinaire en une somme de fonctions en cosinus, on détermine les grandeurs $\frac{E}{L_1\omega}$ $\frac{E}{2L_2\omega}$ $\frac{E}{3L_3\omega}$ ..... et aussi les grandeurs L_1 L_2 L_3. Remarquons que

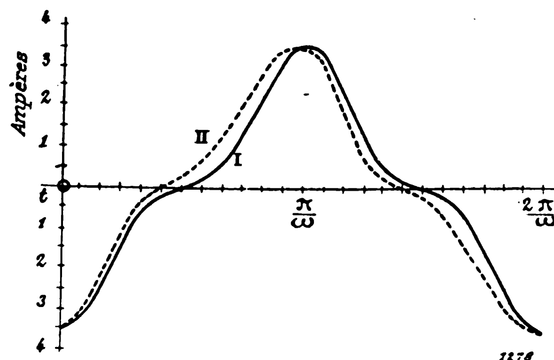


Fig. 2

cette décomposition ne peut donner que des termes dont la fréquence est un multiple impair de $\frac{\omega}{2\pi}$, car la courbe a la même allure de part et d'autre de l'axe des x.

On a donc :

$$\frac{E}{2L_2\omega} = \frac{E}{4L_4\omega} = \frac{E}{6L_6\omega} = \dots\dots = 0$$

et

$$L_2 = L_4 = L_6 = \ldots\ldots = \infty$$

Si L_{2n} désigne l'une de ces constantes, le coefficient du terme en cosinus a la valeur :

$$\frac{2nEL_{2n}\omega}{p^2 + (2nL_{2n}\omega)^2} = \frac{\infty}{\infty} = \frac{2nE\omega}{2(2n\omega)^2 L_{2n}} = 0$$

L'équation 6 prend la forme

$$i = \frac{Er}{r^2 + (L_1\omega)^2} \sin(\omega t) - \frac{EL_1\omega}{r^2 + (L_1\omega)^2} \cos(\omega t)$$
$$- \frac{3EL_3\omega}{r^2 + (3L_3\omega)^2} \cos 3\,\omega t - \frac{5EL_5\omega}{r^2 + (5L_5\omega)^2} \cos 5\,\omega t - \ldots\ldots (15)$$

L'équation 15 diffère de cellle qu'on obtient en supposant le coefficient de self-induction constant en ce que, au lieu d'un terme contenant un coefficient de self-induction, il y a une série de termes en cosinus dont la fréquence est un multiple impair de la fréquence fondamentale.

L'exemple qui sert de base aux fig. 1 et 2 repose sur les données suivantes :

flux maximum 4.10^5
nombre de tours d'enroulement $z = 100$
fréquence par seconde 75

Ces données correspondent à une f. e. m. maxima de 188 volts. Les proportions ont été choisies telles que la courbe I fig. 2 est représentée par deux fonctions en cosinus, dont l'une a la même fréquence que la f. e. m. et l'amplitude 5,5 A, et l'autre a une fréquence triple et l'amplitude 1,5 A. On a alors :

$$\frac{E}{L_1\omega} = 5{,}5$$

$$L_1 = \frac{E}{5{,}5.\omega} = \frac{188}{2\pi.75.5{,}5} = 0{,}073$$

$$\frac{E}{3L_3\omega} = 1{,}5$$

$$L_3 = \frac{E}{3.1{,}5\omega} = \frac{188}{3.2\pi.75.1{,}5} = 0{,}089$$

Lorsqu'on veut tenir compte de l'hystérésis, on peut le faire de la façon suivante. Si l'on connaît les courbes d'aimantation pour les valeurs croissantes et décroissantes de celle-ci, et que l'on fasse, avec leur aide, la même construction que précédemment, on trouve une courbe qui coïncide avec la courbe I, fig. 2, pour les valeurs de t égales à

$$0, \frac{\pi}{\omega}, \frac{2\pi}{\omega}, \frac{3\pi}{\omega}, \frac{4\pi}{\omega} \ldots\ldots \text{etc.}$$

et a une allure différente aux autres points (courbe tracée en pointillé dans la fig. 2). La série qui représente cette courbe doit contenir des termes en sinus et des termes en cosinus, car les valeurs de la fonction ne sont pas égales pour des valeurs égales, et opposées de t. Pour que les constantes tirées d'un développement en série de ce genre puissent être employées dans l'équation 3, il faut que celle-ci prenne, pour $r = 0$, une forme correspondante. On y arrive en introduisant, au lieu de L_n, les deux constantes L'_n et L''_n et en posant :

$$A_n = \frac{a_n r + nEL'_n\omega}{r^2 + (nL'_n\omega)^2} \qquad (16)$$

$$B_n = -\frac{nEL''_n\omega}{r^2 + (nL''_n\omega)^2} \qquad (17)$$

Dans le cas où il n'y a pas de self-induction, l'équation (3) prend la même forme que précédemment d'où l'on tire pour $a_1\, a_2 \ldots\ldots$ les valeurs précédemment obtenues. Pour $r = 0$, on a :

$$i = i' = \frac{E}{L'_1\omega} \sin(\omega t) + \frac{E}{2L'_2\omega} \sin(2\,\omega t) + \frac{E}{3L'_3\omega} \sin(3\omega t) + \ldots$$
$$- \frac{E}{L''_1\omega} \cos(\omega t) - \frac{E}{2L''_2\omega} \cos(2\,\omega t) - \frac{E}{3L''_3\omega} \cos(3\omega t) - \ldots (18)$$

La décomposition de la courbe représentant i' en fonction de t ne peut encore donner que des termes dont la fréquence est un multiple impair de $\frac{\omega}{2\pi}$, car cette courbe présente aussi la même allure de part et d'autre de l'axe des x. Pour les constantes

$$L'_2\ L'_4\ L'_6 \ldots\ldots,\ L''_2\ L''_4\ L''_6 \ldots\ldots$$

les résultats précédemment trouvés restent les mêmes, et les termes dont font partie ces constantes disparaissent ; il reste finalement :

$$i = \frac{E(r + L'_1\omega)}{r^2 + (L'_1\omega)^2} \sin(\omega t) + \frac{3EL'\omega}{r^2 + (3L'_3\omega t)^2} \sin(3\,\omega t) + \ldots\ldots$$
$$- \frac{EL''_1\omega}{r^2 + (L''_1\omega)^2} \cos(\omega t) - \frac{3EL''_3\omega}{r^2 + (L''_3\omega)^2} \cos(3\,\omega t) - \ldots\ldots (19)$$

Il faut maintenant développer l'équation du courant en supposant que la f. e. m. est représentée par une série de la forme :

$$E = E'_1 \sin(\omega t) + E'_2 \sin(2\,\omega t) + E'_3 \sin(3\,\omega t) + \ldots\ldots$$
$$+ E''_1 \cos(\omega t) + E''_2 \cos(2\,\omega t) + E''_3 \cos(3\,\omega t) + \ldots (20)$$

Une f. e. m. $E' \sin(\omega t)$ produit dans un circuit de résistance r et de self-induction constante L le courant :

$$\frac{E'r}{r^2 + (L\omega)^2} \sin(\omega t) - \frac{EL\omega}{r^2 + (L\omega)^2} \cos(\omega t)$$

Le courant produit dans les mêmes conditions par la f. e. m. :

$$E' \cos(\omega t) = E' \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

est :

$$\frac{E'r}{r^2+(L\omega)^2}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right) - \frac{E'L\omega}{r^2+(L\omega)^2}\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)$$
$$= \frac{E'r}{r^2+(L\omega)^2}\cos(\omega t) + \frac{E'L\omega}{r^2+(L\omega)^2}\sin\omega t$$

Par suite, les constantes de l'équation (3) doivent être écrites sous la forme :

$$A_n = \frac{a'_n r + n(E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots) L'_n\omega}{r^2 + (nL'_n\omega)^2} \quad (21)$$

$$B_n = \frac{a'_n r + n(E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots) L'_n\omega}{r^2 + (nL'_n\omega)^2} \quad (22)$$

La détermlnation des constantes a lieu alors d'une manière tout à fait analogue à celle précédemment employée.

On a l'équation différentielle :

$$E'_1 \sin(\omega t) + E'_2 \sin(2\omega t) + E'^3 \sin(3\omega t) + \ldots\ldots$$
$$+ E'_1 \cos(\omega t) + E'_2 \cos(2\omega t) + E'_3 (\cos 3\omega t)$$
$$+ \ldots\ldots = ir + z\frac{dk}{dt} \quad (23)$$

Si l'on pose alors

$$L'_1 = L'_2 = L'_3 = \ldots\ldots = L'_1 = L'_2 = L'_3 = \ldots = 0$$

on trouve, d'après l'équation 3 et en tenant compte des équations 21 et 22

$$i' = \frac{a'_1}{r}\sin(\omega t) + \frac{a'_2}{r}\sin(2\omega t) + \frac{a'_3}{r}\sin(3\omega t) + \ldots\ldots$$
$$+ \frac{a'_1}{r}\cos(\omega t) + \frac{a'_2}{r}\cos(2\omega t) + \frac{a'_3}{r}\cos(3\omega t) + \ldots\ldots \quad (24)$$

Mais, d'autre part, au cas où il n'y a pas de self-induction, on a :

$$i = i' = \frac{E'_1 \sin(\omega t) + E'_2 \sin(2\omega t) + E'_3 \sin(3\omega t) + \ldots\ldots}{r}$$
$$+ \frac{E'_1 \cos(\omega t) + E'_2 \cos(2\omega t) + E'_3 \cos)3\omega t) + \ldots\ldots}{r} \quad (25)$$

Les deux équations (24) et (25) ne peuvent exister simultanément que si les facteurs constants des termes variables concordants sont égaux. Il en résulte, comme r est commun à tous les termes, que

$a'_1 = E'_1$	$a'_1 = E'_1$
$a'_2 = E'_2$	$a'_2 = E'_2$
$a'_3 = E'_3$	$a'_3 = E'_3$
....	....
....	....

On détermine les grandeurs :

$$L'_1,\ L'_2,\ L'_3 \ldots\ldots\ L'_1,\ L'_2,\ L'_3 \ldots\ldots$$

en posant :

$$r = 0$$

dans l'équation (23) et dans l'équation obtenue en introduisant dans l'équation (3) les valeurs tirées des équations 21 et 22.

On a alors :

$$i = i' = \frac{E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots}{L'_1\omega}\sin(\omega t)$$
$$+ \frac{E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots}{2L'_1\omega}\sin(2\omega t) + \ldots\ldots$$
$$- \frac{E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots}{L'_1\omega}\cos(\omega t)$$
$$- \frac{E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots}{2L'_2\omega}\cos(2\omega t) - \ldots\ldots \quad (26)$$

et, en intégrant l'équation 23 avec une constante d'intégration nulle, comme nous l'avons déjà remarqué :

$$K = \frac{1}{z}\int[E'_1 \sin(\omega t) + E'_2 \sin(2\omega t) + E'_3 \sin(3\omega t) + \ldots\ldots$$
$$+ E'_1 (\cos\omega t) + E'_2 \cos(2\omega t) + \ldots\ldots]\, dt$$
$$= \frac{E'_1}{z}\sin(\omega t) + \frac{E'_2}{2z\omega}\sin 2\omega t + \frac{E'_3}{3z\omega}\sin 3\omega t + \ldots\ldots$$
$$- \frac{E'_1}{z\omega}\cos(\omega t) - \frac{E'_2}{(2z\omega)}\cos 2\omega t - \frac{E'_3}{3z\omega}\cos 3\omega t - \ldots\ldots \quad (27)$$

L'équation du courant prend finalement la forme :

$$i = \frac{E'_1 r + (E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots) L'_1\omega}{r_2 + (L'_1\omega)^2}\sin(\omega t)$$
$$+ \frac{E'_2 r + 2(E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots) L'_2\omega}{r^2 + (2L'_2\omega)^2}\sin(2\omega t) \ldots\ldots$$
$$+ \frac{E'_1 r - (E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots\ldots) L'_1\omega}{r^2 + L'_1\omega)^2}\cos\omega t$$
$$+ \frac{E'_2 r - 2(E'_1 + E'_2 + E'_3 + \ldots) L'_2\omega}{r^2 + (2L'_2\omega)^2}\cos 2\omega t + \ldots \quad (28)$$

On peut tenir compte de l'influence de l'hystérésis de la manière précédemment indiqué, en construisant la courbe de i'' en fonction de A, il serait superflu d'en donner ici de plus amples développements. E. B.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

La détermination de transmetteurs de télégraphie sans fil. **A. Slaby**.—Electrot. Zeitschrift, 18 août. *(suite et fin).*

§ 5 TRANSMETTEURS EN FORME DE HARPES OU DE CONES

Nous avons montré dans un précédent travail que deux fils parallèles placés à une distance e l'un de l'autre, et ayant une longueur l et un

diamètre $2r$ ont, pour des charges également réparties et de même ligne, la capacité :

$$C = \alpha \frac{2l}{2 \log_{nat} \frac{l}{r}}$$

Cette capacité est inférieure au double de la capacité d'un conducteur, car les fils également chargés exercent l'un sur l'autre une action désélectrisante. Pour tenir compte de cette action dans le calcul, nous introduirons le facteur a, toujours inférieur à l'unité, que l'on peut obtenir de la façon suivante : A un éclateur mis à la

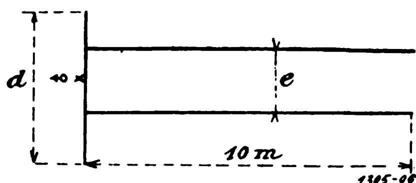


Fig. 15

terre (revêtement de zinc) au moyen d'un cylindre en tôle (fig. 15) fut fixé un fil transversal d de 1 mètre de longueur et, à celui-ci un fil de 10 mètres parallèle au revêtement de zinc.

La capacité, déduction faite du fil transversal, était 60 cm et le quart de longueur d'onde.

$$\frac{\lambda}{4} = 9{,}6 \text{ m.}$$

Ensuite on plaça deux fils à une distance variable e l'un de l'autre, et on mesura de la même manière la capacité et la longueur d'onde. Les résultats obtenus sont les suivants.

l_{cm}	C_{cm}	$\frac{\lambda}{4}$ m	$\frac{\lambda}{4} - \frac{e}{2}$
—	—	—	—
5	84	9,83	9,81
10	93	9,95	9,90
20	101	9,97	9,87
30	106	10,03	9,88
40	110	10,08	9,88
60	115	10,15	9,85
80	118	10,19	9,79
100	120	10,21	9,71

La fig. 16 montre la capacité croissant de plus en plus lentement avec l'écartement e jusqu'au moment où elle atteint, pour un écartement de 1 mètre, une valeur constante égale au double de la capacité d'un fil. On peut en déduire que l'action désélectrisante disparait lorsque l'écartement est supérieur à 1 mètre.

La fig. 17 représente la longueur d'onde en fonction de l'écartement des fils (courbe A). Il faut faire attention que la longueur $\frac{e}{2}$ du fil transversal d est contenue dans les longueurs d'onde

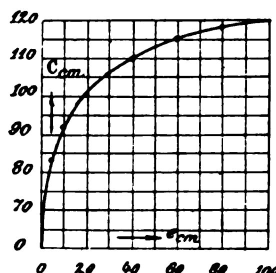


Fig. 16

portées sur cette courbe. Les longueurs d'onde qui correspondraient aux fils parallèles seuls sont données par la courbe B. Celle-ci présente un point anguleux pour 10 cm d'écartement, atteint un maximum entre 30 et 40 cm. et tombe au delà de 100 cm à la valeur trouvée pour 1 seul fil.

Le facteur α est déduit de la relation :

$$\alpha = \frac{C}{120}$$

et présente les valeurs suivantes en fonction de l'écartement : (fig. 18).

e	α
—	—
5	0,700
10	0,775
20	0,842
30	0,883
40	0,917
60	0,958
80	0,983
100	1.000

Si l'on pouvait négliger l'induction mutuelle, le coefficient de self-induction du fil double serait seulement la moitié de celui du fil simple, puisque les deux conducteurs sont en parallèle. L'induction mutuelle des courants de même direction augmente la self-induction d'une quantité qui dépend aussi de l'écartement.

Le coefficient de self-induction du fil double est :

$$L = \frac{1}{\beta} l \log_{nat} \frac{l}{r}$$

Le coefficient B dépend de l'écartement *e* et est inférieur à l'unité. Comme les longueurs d'ondes sont déterminées expérimentalement on peut tirer L de la relation

$$\frac{\lambda}{4} = \sqrt{CL}.$$

On trouve alors dans le cas précédent :

$$\beta = \frac{1}{2} \cdot \frac{15340}{L}$$

puisque le coefficient de self-induction du fil

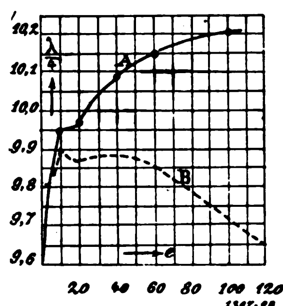


Fig. 17

simple au-dessus du revêtement de zinc est

$$L = \frac{960^2}{60} = 15340^{cm}$$

Les valeurs de L et de B pour deux conducteurs parallèles placés à une distance variable *e* sont données par le tableau suivant :

e	L	β	$\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}$
5	9100	0,843	0,911
10	18540	0.728	1,032
20	9645	0,795	1,029
30	9209	0,833	1,030
40	8872	0,864	1,030
60	8437	0,989	1,027
80	8122	0,944	1,020
100	7857	0,976	1,013

L'allure des courbes A et B (fig. 18) montre que l'influence de l'induction mutuelle se fait sentir à des distances plus grandes que l'action désélectrisante. Pour un écartement de plus de 1 mètre entre les fils, on doit supposer que A = B, de sorte que la longueur d'onde du fil double est très peu différente de celle du fil simple. Comme l'énergie des oscillations croît avec, elle peut être doublée lorsqu'on emploie un conducteur double d'écartement approprié.

Les mêmes considérations s'appliquent aux systèmes à 2 fils parallèles ; on peut accroître l'énergie par seconde des oscillations dans la proportion de 1 à 2 sans modifier sensiblement la

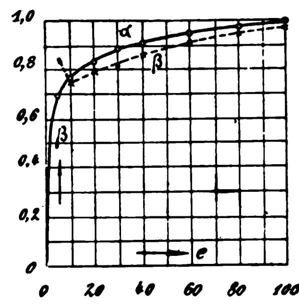


Fig. 18

longueur d'onde, en supposant que les fils aient un écartement supérieur à 1 mètre.

Pour un écartement plus faible *e* qui doit souvent être adopté pour des raisons pratiques, il faut tenir compte du facteur α. Pour une harpe comprenant jusqu'à 10 fils distants de 2,5 à 25 cm, nous avons déterminé de la même façon le coefficient α par des mesures de la capacité et de la longueur d'onde. Le tableau suivant et la courbe de la fig. 19 indiquent les résultats obtenus :

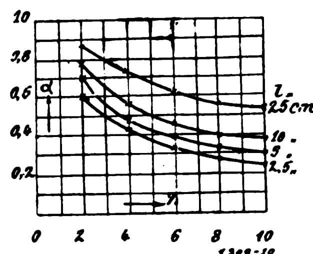


Fig. 19

Une harpe de 10 fils parallèles ayant 10 mètres de longueur a par exemple, pour un écartement de 25 cm entre fils, une capacité de 323 cm et un quart de longueur d'onde de 12,22 mètres. Le coefficient de self induction est :

$$L = \frac{1222^2}{323} = 4623^{cm}$$

et l'énergie des oscillations par seconde est

$$10\,\alpha = 5,38$$

fois plus grande que celle d'un fil unique de 10 mètres de longueur.

Si l'on pouvait choisir un écartement d'environ 2 mètres, l'énergie serait certainement décuplée.

La question se pose de savoir si un tel transmetteur en forme de harpe avec d'aussi grands intervalles entre les fils est encore monotonique. Ce n'est pas le cas, comme le montre la mesure suivante :

Deux fils parallèles de 10 mètres de longueur sont mis en vibration par un éclateur placé au

z	Ccm	$\frac{\lambda}{4}$ m	α
—	—	—	—
2	72	9,73	0,600
4	102	9,96	0,425
6	122	10,13	0,339
8	140	10,23	0,292
10	150	10,28	0,256
	$e = 2{,}5$cm		
2	84	9,83	0,700
4	114	10,08	0,475
6	144	10,25	0,400
8	165	10,33	0,344
10	181	10,38	0,302
	$e = 5{,}0$		
2	93	9,95	0,775
4	136	10,22	0,567
6	167	10,46	0,464
8	200	10,70	0,417
10	235	10,94	0,392
	$e = 10{,}0$ cm		
2	104	10,11	0,867
4	175	10,50	0,730
6	225	11	0,625
8	270	11,52	0,56à
10	323	12,22	0,538
	$e = 25{,}0$cm		

milieu de leur fil de jonction. Les deux fils vibrent avec un quart d'onde de 15 mètres. Si l'on place un 3e fil parallèle entre les deux, il vibre avec un quart d'onde de 10 mètres ; deux fils symétriques placés chacun au milieu d'un intervalle vibrent avec un quart d'onde de 12m,50. Cela prouve que le système de fils constituant la harpe n'oscille pas comme un tout, mais que chaque fil est le siège d'une onde propre dont la longueur dépend de la distance du point d'attache à l'éclateur.

Mais on peut rendre facilement toute la harpe monotonique en faisant en sorte que toutes les longueurs totales de fil soient égales, ou bien en reliant métalliquement les extrémités supérieures des fils.

La disposition des fils suivant les génératrices d'un cône a été étudiée de la même façon. D'un éclateur relié à la terre partaient des fils de 10 mètres de longueur fixés sur des circonférences de telle manière que l'écartement des points d'attache fût $a = 2{,}5$, 5, 10, et 25 cms.

Pour chaque valeur de l'écartement a on mesura la capacité et la longueur d'onde. Le coefficient α est réprésenté pour les courbes de la fig. 20 en fonction du nombre de fils z et de l'écartement a sur la circonférence d'attache. Pour 10 fils et un écartement de 25 cm la la longueur d'attache était

$$\frac{\lambda}{4} = 12{,}6 \text{ mètres} ; \quad \alpha = 0{,}3$$

L'énergie des oscillations ne pouvait donc être que le triple de celle d'un fil simple. La comparaison avec les résultats obtenus au moyen du dispositif en harpe prouve la supériorité de ce

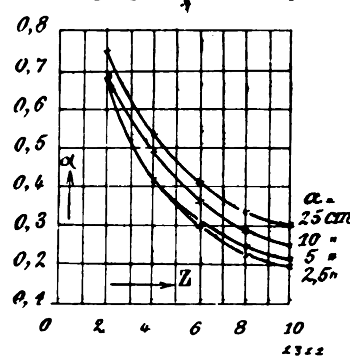


Fig. 20

dernier. Lorsque l'ouverture du cône augmente, les résultats sont meilleurs, mais ils restent toujours inférieurs à ceux que l'on obtient avec une harpe.

Les expériences précédentes prouvent que les dispositifs en harpe et en cône permettent d'augmenter, dans de larges limites, la capacité et l'action à distance. Grâce à eux, la télégraphie sans fil a le moyen de franchir des distances extrêmement considérables pourvu qu'il soit possible d'augmenter l'antenne et de produire, avec d'énormes installations, l'énergie nécessaire à la charge.

§ 6. — Transmetteur a bobines

Lorsqu'on emploie le transmetteur Marconi, on est souvent forcé, pour permettre l'accord, de modifier la longueur d'onde sans modifier la lon-

gueur d'antenne supposée donnée. On peut augmenter la longueur d'onde dans des limites étendues en intercalant des bobines entre l'antenne et l'éclateur. L'influence d'une telle self-induction additionnelle nécessite une étude particulière.

Les coefficients de self-induction des bobines peuvent être déterminés avec exactitude au moyen d'une méthode indiquée par Nernst et reposant sur l'emploi de courants à haute fréquence. Nous employons pour cela le dispositif suivant :

Un pont (fig. 21) est alimenté à haute tension par un éclateur F. Deux branches contiennent

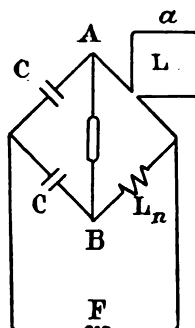


Fig. 21

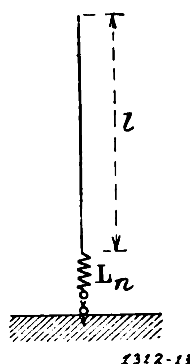


Fig. 22

des bouteilles de Leyde C d'égale capacité (1200 cm) égalisées très exactement au moyen d'un pont avec téléphone. Dans les autres branches sont placés d'une part la bobine à étalonner L_n, d'autre part, des cadres carrés de côté a dont le coefficient de self-induction est calculé d'après la formule de Wien applicable aux hautes fréquences :

$$L = 4\left[2a \log_{nat} \frac{a}{1{,}207r} - 1{,}1716a\right]$$

Lorsque les potentiels sont égaux en A et B on a, comme dans tout pont de Wheastone, l'égalité des produits des résistances apparentes opposées, d'où

$$L\omega \frac{1}{C\omega} = L_n\omega \frac{1}{C\omega}$$

ou

$$L = L_n$$

Quand cette condition est remplie, la luminescence d'un tube Geissler introduit dans la diagonale AB disparait. Comme, d'après Wien, la self-induction des cadres donnée par la formule est exacte à 3 % près, la self-induction des bobines peut être déterminée avec la même approximation.

Les données se rapportent évidemment à une répartition à peu près uniforme du courant dans les différents tours de la bobine. Pour les mesurer, nous avons employé 2 séries de bobines, désignées par L' et L'', enroulées sur des cylindres et graduées au moyen de cette méthode. La série de bobines L' a un diamètre moyen de $6{,}5_{cm}$ et porte un câble isolé au caoutchouc. La série de bobines L'' a un diamètre moyen de 15_{cm}. Pour obtenir avec une antenne donnée de longueur l une longueur d'onde plus grande que $\frac{\lambda}{4} = l$, on intercale des bobines entre l'éclateur et l'antenne. La longueur d'onde est donnée par la formule

$$\lambda = 2\pi\sqrt{C^1L^1}$$

C^1L^1 étant les valeurs réduites correspondantes. Si l'on remplace la bobine par une longueur de fil l_n équivalente (fig. 23), la répartition de la tension sur le fil $l_n + l$ devrait être celle que repré-

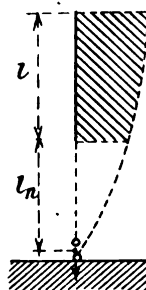


Fig. 23

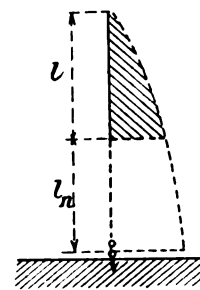


Fig. 24

sente la figure. Au fil l devrait correspondre une capacité déterminée par la valeur moyenne de la surface hachurée. Au lieu du facteur de réduction $\frac{2}{\pi}$ valable pour un quart complet de sinusoïde, il faut calculer un facteur de forme α plus grand que l'on peut obtenir en planimétrant une sinusoïde pour différents rapports

$$\frac{l}{\frac{\lambda}{4}}$$

et en représentant graphiquement les résultats. Au point de vue de la self-induction du fil droit, on doit tenir compte de la même façon de la surface hachurée de la fig. 24 pour la répartition de courant et prendre, au lieu du facteur de réduction $\frac{2}{\pi}$ un facteur de forme ξ plus petit déterminé

par planimétrie et porté comme fonction de

$$\frac{l}{\frac{\lambda}{4}}$$

pour différents rapports.

Le tableau suivant indique les facteurs de forme ainsi déterminés.

$\frac{l}{\frac{\lambda}{4}}$	ξ courant	η tension
—	—	—
0,1	0,095	0,972
0,2	0,175	0,978
0,3	0,250	0,958
0,4	0,320	0,935
0,5	0,380	0,904
0,6	0,445	0,865
0,7	0,500	0,810
0,8	0,550	0,749
0,9	0,595	0,690
1,0	0,637	0,637

La capacité de la bobine est extrêmement faible et négligeable vis-à-vis de la capacité du fil. Le facteur de forme pour la self-induction de la bobine est, avec une aussi grande appproximation, égal à l'unité, et la longueur d'onde du système total peut être calculée d'après la formule :

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{(L_n + L_d\xi)C_d\eta} \qquad (1)$$

L'introduction de la bobine déforme un peu les courbes de tension et de courant des figures 23 et 24, comme le montre la fig. 25, car, à l'extrémité de la bobine, il se produit toujours une petite

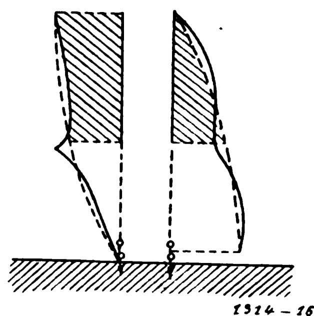


Fig. 25

élévation de tension liée à une faible chute de courant. L'expérience seule peut apprendre si cette modification exerce une influence essentielle sur le calcul indiqué pour la longueur d'onde.

Dans ce but, nous avons mesuré la longueur d'onde en intercalant plusieurs bobines différentes sur un fil de 10 mètres de longueur. La longueur d'onde pour le fil seul était $\frac{\lambda}{4} = 9,6$ mètres c'est-à-dire 4 % plus faible que la longueur réelle du fil. Cela provient de ce que le fil était tendu au-dessus du revêtement de zinc, d'où résulte une diminution de la self-induction déjà mentionnée.

Comme la capacité du fil dans les mêmes conditions avait précédemment été mesurée

$$C_d = 60^{cm}$$

et que la formule

$$\frac{\lambda^o}{4} = \sqrt{C_d L_d} = 960^{cm}$$

doit être vérifiée, il en résulte que le coefficient de self-induction pour le fil de 10 mètres de longueur était

$$L_d = 15350$$

Naturellement le revêtement de zinc était sans influence sur le coefficient de self-induction de la bobine.

Les mesures ont donné les résultats suivants :

n	L'_n	$\frac{\lambda}{4}\,m$
—	—	—
0	—	h,60
3	1900	10,48
4	2600	10,90
5	3400	11,38
6	4250	11,78
7	5230	12,42
8	6250	12,82
9	7400	13,44
10	8700	14,00
12	11150	15,20
14	14100	16,36
15	15600	17,02
18	19700	18,48
20	22500	19,50

Ces valeurs sont portées sur la figure 26.

Le calcul donne les résultats suivants :

La faiblesse des écarts entre les valeurs trouvées expérimentalement et celles déterminées par le calcul montre que la méthode est rigoureuse et que son emploi est admissible.

S'il est nécessaire d'accorder un transmetteur Marconi de longueur d'antenne donnée pour une longueur d'onde plus grande, on opère de la façon suivante :

En premier lieu, on mesure au moyen du pont avec téléphone la capacité, et avec l'échelle de multiplication, la longueur d'onde du transmetteur. De la relation :

$$\frac{\lambda_0}{4} = \sqrt{C_d L_d},$$

L_n	ξ	n	$\frac{\lambda}{4}$ calculée	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	différence en %
—	—	—	—	—	—
2000	0,612	0,662	10,56	10,60	— 0,40
4000	0,557	0(712	11,63	11,65	— 0,17
6000	0,541	0,760	12,68	12,70	— 0,16
8000	0,511	0,797	13,67	13,70	— 0,22
10000	0,490	0,822	14,63	14,60	+ 0,20
12000	0,472	0,841	15,48	15,50	— 0,13
14000	0,449	0,860	16,31	16,40	— 0,55
16000	0,430	0,872	17,07	17,20	— 0,76
18000	0,417	0,883	17,85	17,90	— 0,28
20000	0,402	0,891	18,55	18,60	— 0,27

on tire la valeur des coefficients de self-induction L_d. Les courbes donnent les valeurs de ξ et de y correspondants au rapport

$$\frac{l}{\frac{\lambda}{4}}$$

et l'équation (1) permet de calculer la valeur nécessaire de L_n. On prend alors une bobine de self-induction correspondant à cette valeur calculée. Dans la plupart des cas, il s'agit de longueur d'onde pour laquelle on dispose de bobines exactement graduées. Pour plus de certitude, il est bon de contrôler le résultat avec l'échelle de multiplication.

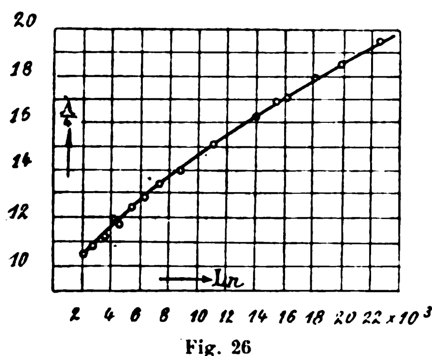


Fig. 26

En disposant une série de touches qui mettent en circuit différentes bobines, on peut émettre une série d'impulsion de diverses longueurs d'ondes. Cette méthode permet de faire de la télégraphie multiple et offre l'avantage que l'exactitude des longueurs d'onde employées ne dépend pas de l'habileté et du degré d'instruction des télégraphistes.

Lorsqu'on emploie des bobines, il faut remarquer qu'il y a toujours une diminution de l'action à distance. Pour cette dernière, c'est toujours l'énergie du courant oscillant dans le conducteur linéaire qui intervient dont la grandeur dépend du facteur de forme et diminue avec l'accroissement de self-induction de la bobine. L'énergie de charge dépend de la tension de surface de l'antenne et de sa capacité, et est constante pour des oscillations lentes. L'énergie des oscillations qui prennent naissance à la décharge reste en grande partie dans la bobine, et une faible part seulement produit des oscillations utiles dans le conducteur linéaire. Tandis que le facteur de forme du fil qui détermine l'action à distance est 0,637 sans bobine, il tombe à 0,4 lorsqu'on double la longueur d'onde. L'énergie oscillatoire utile dépend du carré de l'intensité du courant et, par suite, du carré du facteur de forme.

Dans les transmetteurs en forme de harpe de 30 mètres de longueur que représente la fig. 27, on a introduit des bobines ayant différents coefficients de self-induction, et mesuré, outre la longueur d'onde, la valeur du courant au moyen d'un ampéremètre thermique A. On a trouvé les résultats suivants :

L'_n	$\frac{\lambda}{4}$ m	J ampère
—	—	—
		1,53
0	33,5	1,50
1300	37,0	1,40
1900	43,0	1,35
2600	48,0	1,20
4250	60,0	1,21
5230	67,0	1,21
6250	73,0	1,22
8700	90,0	1,22
11150	105,0	1,22

La diminution de courant due à la self-induction atteignait 30 %. Si l'action à distance est l'une des premières questions à envisager, il ne faut employer qu'avec attention ce moyen indiqué pour augmenter les longueurs d'onde.

§ 7. — Transmetteur avec capacité a l'extrémité

Dans certaines limites, on peut obtenir une augmentation de l'action à distance en plaçant une capacité à l'extrémité de l'antenne, mais celà

modifie d'une façon importante la longueur d'onde, comme le montre le calcul suivant.

Supposons qu'une capacité C_f constituée par des bouteilles de Leyde soit placée à l'extrémité d'un conducteur l (fig. 28). Si l'on remplace ce transmetteur par une antenne simple de Marconi de même fréquence d'oscillation, sa longueur doit être $\frac{\lambda}{4}$. En désignant par i_l l'intensité maxima du courant, par q_l la charge maxima par unité

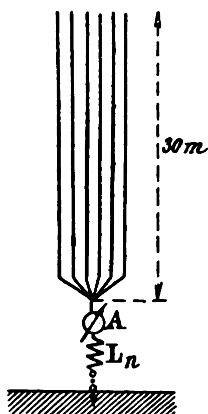


Fig. 27

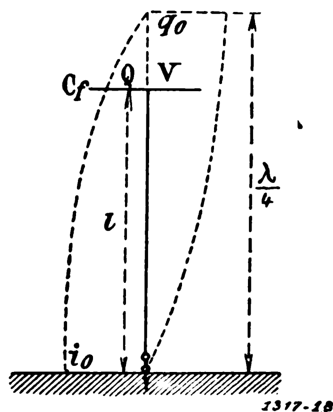


Fig. 28

de longueur du fil à une distance l de l'éclairage relié à la terre, on a

$$i_l = i_o \cos \frac{2\pi}{\lambda} l$$

$$q_l = q_o \sin \frac{2\pi}{\lambda} l$$

où i_o et q_o représentent les valeurs maxima aux extrémités du fil $\frac{\lambda}{4}$. Soit v la vitesse avec laquelle se propage la charge dans le fil ; après un quart de période la charge q_o qui était primitivement à l'extrémité du fil doit être passée à la prise de terre en un courant i_o d'où

$$q_o v = i_o$$

et

$$q_l = \frac{i_o}{v} \sin \frac{2\pi}{\lambda} l$$

La capacité C_f doit avoir une valeur suffisante pour recevoir à chaque instant la charge Q existante sur la portion de fil découpée $\frac{\lambda}{4}$ l, c'est-à-dire

$$Q = \int_l^{\frac{\lambda}{4}} q_l dl = \frac{i_o}{v} \frac{\lambda}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{\lambda} l$$

D'autre part le potentiel V à la ligne de coupure doit rester invariable, d'où

$$V = \frac{q_l}{c} = \frac{i_o}{vc} \sin \frac{2\pi}{\lambda} l$$

c désignant la capacité du fil par mètre de longueur.

La capacité devra alors avoir la valeur

$$C_f = \frac{Q}{V} = \frac{c\lambda}{2\pi} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} l}$$

ou

$$\frac{Cl}{C_f} = \frac{2\pi l}{\lambda} \operatorname{tg} \frac{2\pi l}{\lambda} \qquad (1)$$

Si la capacité C_f est très grande par rapport à la capacité du fil $c\,l$, on peut remplacer la tangente par l'angle et écrire :

$$\lambda = 2\pi \sqrt{C_f \frac{l}{c}}$$

Comme $\frac{1}{c}$ représente la valeur du coefficient de self-induction par unité de longueur, le calcul conduit à la formule de Thomson :

$$\lambda = 2\pi \sqrt{C_f L}$$

où L désigne le coefficient de self-induction pour une répartition égale de courant, et correspond par conséquent à l'approximation que le conducteur l est dépourvu de capacité.

Mais, pour l'emploi pratique, le cas est exactement inverse.

Comme il y a de grandes difficultés techniques à placer de fortes capacités à l'extrémité du fil, la capacité de fil est toujours sensiblement plus grande que celle des bouteilles de Leyde que l'on peut employer.

Il y a deux moyens pour prédéterminer la longueur d'onde. Ou bien on résout l'équation transcendante par approximation, ou bien l'on introduit la capacité du fil :

$$C_d = l_c$$

et l'on tient compte du facteur ξ correspondant à la répartition de la charge (voir § 6).

$$\lambda = 2\pi l \sqrt{\frac{c_f}{\xi C_d}}$$

La formule 1 donne des valeurs exactes, pour des raisons que nous indiquerons plus loin.

Pour résoudre l'équation transcendante on

peut se servir d'un tableau de courbes ($y = xtqx$) ou d'un petit appareil que nous allons décrire.

Supposons qu'un cercle de rayons r roule sur une droite ox (fig. 29) et que, partant d'un point initial où son centre A est sur la perpendiculaire oy à ox le cercle ait tourné d'un angle $\frac{x}{r}$: son centre i est déplacé de AA'. Le rayon AB est venu en A'B' et coupe oy en c.

Dans le triangle rectangle CAA' on a la relation :

$$AC = AA' \, tq \, AA'C = xtq \frac{x}{r}$$

ou, en prenant r comme unité de mesure,

$$Ac = xtqx$$

Pour résoudre l'équation

$$xtqx = C^{te}$$

on emploie un dispositif représenté par la figure 30.

Sur un tableau plat T est placée une bordure

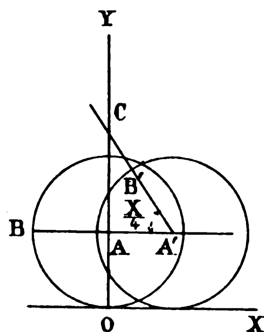


Fig. 29

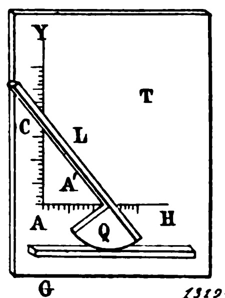


Fig. 30

droite G qui représente l'axe ox. Le cercle n'existe que sous forme d'un quadrant Q correspondant à $o \leq x \leq \frac{\pi}{2}$. Les extrémités d'une bande mince sont fixées au quadrant et à la bordure et une règle prolonge l'un des rayons du quadrant. Sur le tableau sont tracés deux axes AH et A Y l'un parallèle et l'autre perpendiculaire à la bordure telle façon que le centre de l'arc de cercle tombe en X lorsque la règle est parallèle à la bordure : ces deux axes portent une graduation partant de A, et pour lesquelles r est pris comme unité de longueur. Entre les segments AC et $AA' = x$ que découpe la règle sur les deux axes, on a toujours la relation

$$AC = xtqx$$

Pour une valeur donnée de AA on peut lire immédiatement la valeur correspondante de x.

La solution est également obtenue d'une façon très simple par l'emploi de la courbe

$$y = xtqx$$

Pour vérifier la formule, on a eu recours à l'expérience suivante.

Un fil de longueur $l = 20$ mètres mis à la terre à l'éclateur fut muni à l'autre extrémité de capacités formées de sphères de laiton d'un diamètre de 60 et 30 cms et la longueur d'onde fut mesurée pour différentes longueurs de fil de plus en plus courtes. Auparavant on avait vérifié la capacité de la boule $d = 60$ cm, car on devait supposer que dans un espace fermé, cette capacité était un peu supérieure à 30 cms. Un fil de 14 mètre de longueur avait été relié à l'une des plaques d'un condensateur à air dont l'autre armature était connectée au revêtement de zinc et l'on avait mesuré la capacité en retranchant successivement au fil des longueurs de deux mètres, tantôt avec la sphère, tantôt sans la sphère. Comme le montre la fig. 31, il y a entre les deux séries de

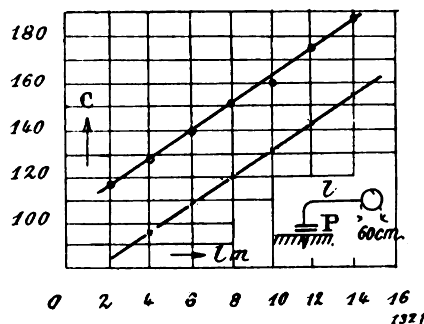


Fig. 31

valeurs trouvées une différence constante de 33 cms, tandis que le fil à une capacité de 6 cms par mètre. Par conséquent les sphères doivent être comptées dans le calcul comme ayant des capacités de 33 et 16,5 centimètres.

Les résultats tirés de l'équation (1) sont rassemblés dans le tableau suivant avec les quarts de longueur d'onde mesurés, et présentent une concordance suffisante.

Dans ses premières expériences, Marconi a employé de telles capacités terminales sous forme de cylindres en zinc et a toujours obtenu, par ce moyen, un renforcement de l'action à distance ; d'après ce qui précède il y a à cela 2 raisons.

D'une part les capacités terminales déterminent, pour une longueur d'antenne donnée, une augmentation de l'énergie de charge, d'autre part l'intensité moyenne du courant oscillant est accrue. Malheureusement ce moyen n'est que rarement employable, à cause des difficultés qu'il présente. Pour la présente étude, la vérification de la formule de la tangente a une importance particulière, car elle doit servir à l'étude du transmetteur à excitation indirecte.

l_m	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	$\frac{\lambda}{4}$ calculée	Différence °/°
—	—	—	—
6	10,7	10,7	0.0
8	12,9	12,7	— 1,5
10	15,0	15,0	0,0
12	17,1	17,1	0,0
14	19,2	19,3	+ 0,5
16	21,4	21,3	— 0,5
18	23,6	23.5	— 0,4
20	25,6	25,4	— 0,8

Cf = 33 cm

l_m	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	$\frac{\lambda}{4}$ calculée	Différence °/°
—	—	—	—
6	8,6	8,6	0,0
8	10,6	10,6	0,0
10	12,6	12,6	— 0,8
12	14,8	14,7	— 0,7
14	16,7	16,7	0,0
16	18,8	18,6	— 1,0
18	20,8	20,6	— 1,0
20	22,8	22,7	— 0,4

Cf = 16,5 cm

R. V.

DIVERS

***Migration d'ions métalliques dans les effluves à l'air libre : Expériences de Démonstration.* E. Riecke et J. Stark.** Physikalische Zeitschrift, 1er septembre.

Beaucoup d'observateurs (1) ont décrit des expériences sur des transports de matières dans l'effluve ou dans l'arc : d'après H. Kayser ces expériences ne sont pas une preuve de l'existence de l'électrolyse dans les gaz. Les expériences suivantes permettent de montrer d'une façon certaine l'existence d'un transport électrique de matière dans l'effluve.

Deux pointes de cuivre de 4mm de diamètre furent connectées aux deux pôles d'une batterie d'accumulateurs ayant aux bornes une différence de potentiel de 3600 volts. Il se produisit, pour un écartement des électrodes variant entre 1 et 2cms une effluve, et même dans certaines circonstances un arc à l'air libre. On introduisit alors entre les électrodes des perles de LiCl, NaCl, KCl, $CaCl^2$ tenues au moyen d'un fil de platine isolé. L'expérience consiste à observer la répartition de la coloration produite par ces

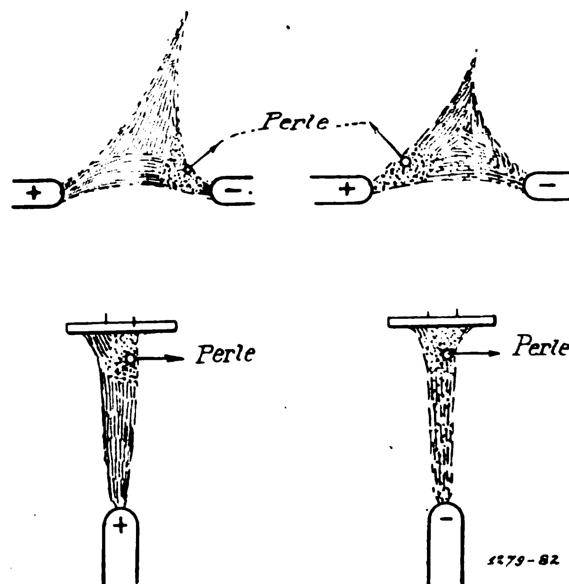


Fig. 1

métaux; les résultats principaux sont les suivants :

1° Les électrodes de cuivre furent placées horizontalement à une distance de 1 à 2 cms. L'espace occupé par des vapeurs éclairantes a la forme d'un triangle dont le sommet est déplacé du côté de la cathode plus chaude (fig. 1.). Si on introduit une perle de LiCl à proximité de la cathode, la coloration rouge est limitée à un petit espace dans le voisinage de la cathode. Si au contraire on place la perle à proximité de l'anode, le lithium est transposté sur la cathode en sens inverse du mouvement ascensionnel des gaz. Une perle de NaCl se comporte identiquement de la même manière.

(1) A. Cazin : L'institut 4. 154. 1876 ; E. Warburg Wied: Ann. 40, 5, 1890 : EC Baly Phil. mag. 35, 200-204. 1893. CW Baldwin Phys. Rev. 3, 370, 1897 ; JJ Thomson Proc. Roy. Soc. 58, 244, 1895; AL Foley Phys. Rev. 5, 129, 1897 ; Garbasso Arch. Scienc. 11, 282, 1901.

2° Les électrodes furent placées sur une ligne verticale à une distance de 2 centimètres. La perle LiCl fut placée dans la partie supérieure de la colonne lumineuse. Si c'était la cathode qui était placée en haut, il se produisait autour de la perle un nuage de coloration rouge; toute la partie inférieure de l'arc restant incolore. Si au contraire la cathode était en bas, la coloration se répandait rapidement jusqu'à la cathode en sens contraire de la marche des gaz chauds.

Tant qu'il n'y avait pas de perle de LiCl dans la colonne lumineuse, la différence de potentiel était 1300 volts et l'intensité de courant 50 milliampères. Quand la perle LiCl était introduite, la différence de potentiel tombait à 400 volts. Cet abaissement est dû sans doute à la facile ionisation de la vapeur de lithium émise par la perle.

Des essais faits avec des perles de KCl $CaCl^2$ ont donné les mêmes résultats. Pour KCl on a observé un abaissement de la différence de potentiel d'environ 670 volts; pour CaCl un abaissement de 320 volts.

3° Si les perles sont introduites à proximité de l'électrode inférieure, la colonne gazeuse ascendante exerce une grande influence sur le phénomène de la répartition de la coloration. L'abaissement de la différence de potentiel est plus considérable et a atteint, pour LiCl, 640 volts. La raison en est que, par suite du mouvement ascensionnel des gaz, les vapeurs de lithium remplissent un espace plus grand.

4° Le fait que la coloration caractéristique suit le chemin des ions métalliques positifs donne une confirmation de l'hypothèse faite par l'un de nous que les atomes positifs sont toujours les supports des lignes du spectre.

B. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

Épuration de l'eau par l'ozone. — Usines de distribution. — Résumé de la conférence du Dr G. Erlwein à la 43e assemblée de l'Association allemande des Ingénieurs de l'hydraulique et du gaz.

Le procédé d'épuration le plus fréquemment employé aujourd'hui pour l'obtention d'eau potable, est le filtrage au travers de couches de sable; mais ce système ne peut s'appliquer à toutes les eaux et il exige des précautions et des soins particuliers dans la conduite du travail.

D'autres méthodes ont été préconisées et mises en pratique; nous rappellerons notamment celles qui consistent à détruire par le chlore, ou le brome, ou toute autre substance analogue, les bactéries, etc., que peut contenir le liquide; ce moyen, purement chimique, présente en pratique une grande difficulté parce qu'il exige que les quantités soient très exactement proportionnées et demande, généralement, un traitement supplémentaire destiné à rendre à l'eau une saveur agréable, en même temps qu'à détruire le goût et la coloration qu'elle peut avoir pris.

Les germes pathogènes peuvent encore être détruits par un chauffage prolongé, c'est-à-dire en maintenant l'eau à une température de 110 à 115 degrés pendant un certain temps, mais ce système est coûteux et il n'est guère plus appliqué aujourd'hui que les procédés électrolytiques

La méthode à laquelle on semble vouloir donner la faveur actuellement, est basée sur l'emploi de l'ozone; elle a été essayée avec succès en France, notamment à Marseille, et en Allemagne, où la Société Siemens et Halske a établi de vastes usines à Paderborn et à Wiesbaden.

M. Erlwein, chimiste en chef des usines de cette société, a exposé, à Zurich, devant la 13e assemblée de l'Association allemande des ingénieurs de l'hydraulique et du gaz, l'état actuel de cette question dont l'intérêt est indiscutable; il a décrit, dans une conférence remarquable, les appareils des établissements cités plus haut; nous lui empruntons en partie les renseignements ci-après.

***

Avant d'entrer en matière, nous rappellerons succinctement au lecteur quelles sont les principales qualités que l'on exige d'une eau potable, c'est-à-dire pouvant servir à l'alimentation sans qu'il en résulte pour celui qui l'absorbe de trouble organique d'aucune sorte.

Tout d'abord, il est quelques conditions hygié-

niques auxquelles il faut que le breuvage satisfasse; il est indispensable qu'il ne se trouve pas dans l'eau d'azotates, d'azotites, de phosphates, d'hydrogène sulfuré, de sulfures, d'ammoniaque, de sels métalliques, etc.

La plupart des eaux de rivière se trouvent dans ce cas, et elles pourraient être employées à la boisson si elles n'étaient, presque toujours, souillées par des détritus divers.

La proportion de matières minérales ne peut dépasser par litre 0,5 gr. et il ne peut en aucune circonstance s'y trouver plus de 50 milligrammes, par décimètre cube, de matières organiques. Encore, faut-il que ces matières ne soient pas en état de décomposition. Le liquide doit, enfin, être absolument exempt de bactéries, surtout de bactéries pathogènes, c'est-à-dire des bactéries du choléra, du typhus, etc.

En règle générale, ce sont surtout les bactéries que l'on a à combattre dans les eaux que l'on se propose de livrer aux usages journaliers. Presque constamment, sous les autres rapports, les eaux peuvent convenir, mais des infiltrations provenant de fosses d'aisance, d'égouts, etc., y amènent des germes nuisibles. C'est pourquoi le traitement que l'on fait subir au liquide constitue, dans la généralité des cas, une stérilisation plus qu'une épuration.

Sans les microbes, en effet, il n'y aurait pas d'inconvénient à ce qu'on employât les eaux de puits ; on en rencontre fréquemment qui ne contiennent pas une quantité exagérée de carbonate de calcium ni de sulfate de calcium et qui, par conséquent, permettent le savonnage et la cuisson des légumes.

Un moyen simple de débarrasser l'eau des matières peu solubles ou difficilement volatilisables qu'elle contient est de la soumettre à la distillation.

Toutefois, l'eau distillée est fade et indigeste ; elle n'est plus suffisamment aérée, ce qui est un défaut grave.

La présence d'air et de gaz dans l'eau est une des qualités que l'on demande à une eau potable ; nous aurions pu l'ajouter à celles indiquées plus haut et dire, en outre, que l'eau doit être fraîche, inodore, d'une saveur agréable.

Quant aux bactéries, un procédé excessivement simple d'en reconnaître l'existence est — nous n'avons pas besoin de le rappeler — la décoloration qu'elles produisent du permanganate de potassium.

Quelques mots sur l'ozone.

L'ozone, c'est-à-dire l'oxygène condensé et électrisé, possède, comme on le sait, des propriétés oxydantes fort énergiques, beaucoup plus marquées encore que l'oxygène puisque, notamment, il oxyde, à froid, le fer, le mercure, l'argent et le zinc. Son odeur particulière, qui rappelle un peu celle du phosphore, est bien connue et se perçoit dans le voisinage des machines électriques en activité. Son rôle, dans l'atmosphère, où il existe toujours en proportion variable selon les saisons et l'état électrique de l'air, est des plus importants, en ce sens qu'il agit comme désinfectant et détruit les germes nuisibles. C'est cette propriété dont on cherche à faire application pour l'épuration de l'eau.

L'ozone, qui n'est donc qu'une modification de l'oxygène, une forme de ce gaz sous laquelle il atteint des propriétés intenses, l'ozone peut s'obtenir de différentes manières ; mais celle à laquelle on recourt le plus fréquemment est l'électrification de l'oxygène, ou, plus simplement, de l'air.

Sous l'influence des décharges électriques, mieux encore de l'effluve bleue, l'oxygène se condense et prend cette odeur particulière avec ces propriétés que nous rappelions plus haut : il se transforme en ozone ; ce dernier se distingue, au point de vue de la composition chimique, en ce que sa molécule est formée de trois atomes ; il perd un atome et retourne à l'état d'oxygène divalent au contact des corps qu'il oxyde. Ce phénomène se produit notamment quand on dissout l'ozone dans l'eau, où le fluide en question est légèrement soluble ; il agit sur les bactéries, notamment sur les bactéries pathogènes et décolore les substances animales et végétales, stérilisant de la sorte le liquide et lui donnant un goût et une saveur plus agréables.

On connaît le principe de l'ozoniseur. Sous sa forme la plus simple, cet appareil se compose de deux capacités concentriques cylindriques entre lesquelles on fait circuler de l'air ; on soumet le gaz aux décharges électriques et l'on obtient ainsi de l'air contenant un certain pourcentage d'ozone et convenant très bien pour la stérilisation de l'eau ; évidemment, pour avoir de l'ozone pur, il suffit de remplacer l'air par de l'oxygène ; cela est inutile, toutefois, pour les usages courants de l'épuration.

L'appareil, récemment mis en service à Marseille est d'une forme un peu différente ; les décharges électriques y sont produites par un courant alternatif de quarante mille volts ; l'ozoniseur est une capacité de verre dans laquelle sont placées les électrodes et où l'on envoie l'air, préalablement desséché, sous une pression de quelques millimètres d'eau. Le gaz, après avoir été soumis aux étincelles, contient environ six grammes d'ozone par mètre cube, quantité qui peut suffire à stériliser environ six mètres cubes d'eau.

Au surplus, l'installation de Marseille n'est pas la première qui ait été réalisée en France ; différents procédés de stérilisation des eaux par l'ozone y ont été imaginés. L'ozone, semble-t-il, n'agit pas seulement sur les bactéries, mais encore sur le fer et sur certaines combinaisons de ce métal.

Toutefois, cette propriété est assez mal connue, elle n'a, d'ailleurs, qu'une importance accessoire, étant donné qu'en général, à moins d'influences que nous examinerons ultérieurement, les eaux ferrugineuses, qui sont des eaux souterraines ayant traversé des couches filtrantes de sable, sont exemptes de bactéries.

On peut classer les eaux susceptibles d'être livrées, après stérilisation, à la consommation, en deux grandes catégories : les eaux souterraines et les eaux superficielles. Les premières, de même que les eaux de sources, en circulant dans le sol, conduites par les couches imperméables qui les forcent finalement à revenir à la surface, ont été débarrassées des microbes qu'elles pouvaient contenir et peuvent être utilisées telles qu'elles se présentent.

Dans certains cas cependant, elles tiennent du fer en dissolution, sous forme de bicarbonate par exemple, et il est indispensable de séparer ce corps du liquide.

Cependant, il arrive aussi que des eaux de puits soient infectées par le voisinage de cours d'eau, de marais, ou par des infiltrations d'origines diverses ; elles doivent alors être épurées, au même titre que les eaux superficielles elles-mêmes ou, plutôt, stérilisées, c'est-à-dire que l'on doit, comme pour celles des lacs et des rivières, leur faire subir une opération détruisant les germes microbiens, les particules animales et végétales, etc.

Comme nous l'avons rappelé déjà, cette épuration peut se faire de différentes manières ; mais celles que nous nous proposons de décrire plus spécialement aujourd'hui sont les méthodes basées sur l'emploi de l'ozone, agent oxydant et désinfectant de première valeur.

***

L'un des premiers procédés qui aient été mis en pratique est celui de Tindal.

Entre les doubles parois d'une caisse métallique circule un courant d'eau ou d'air froid servant de réfrigérant ; les faces opposées de cette caisse forment l'une des électrodes, qui est mise à la terre ; l'autre, reliée au circuit à haute tension, est constituée de feuilles d'un métal inattaquable à l'ozone, isolées à l'intérieur de la caisse contenant tout le système.

Cet appareil est caractérisé par des surfaces de décharge sous diélectrique et par le refroidissement de l'une des électrodes, ainsi qu'il a été vu, par un courant énergique. En outre, une résistance de glycérine est introduite dans le circuit en dehors de l'appareil.

Pour obtenir un air fortement ozonisé, on dispose les uns à la suite des autres plusieurs appareils de ce genre, en série ; l'air est envoyé dans le premier et soumis aux décharges électriques ; après avoir subi cette action de l'électricité, il passe dans le second appareil, où l'ozonisation se répète ; etc.

La tension employée est de 40.000 à 50.000 volts.

La tour de stérilisation a de huit à dix mètres de hauteur.

Elle est formée de cuves cylindriques, à fonds perforés de nombreux trous, et superposées en colonne. L'ensemble constitue un dispositif analogue aux tours à plateaux dont l'emploi s'est généralisé dans un grand nombre d'applications et qui remplacent, souvent avantageusement, les tours à coke, etc., précédemment en usage.

Dans d'autres formes de stériliseurs, l'eau est mise en présence de l'ozone dans des tubes de grande section, en grès, où les deux fluides circulent en sens inverse l'un de l'autre.

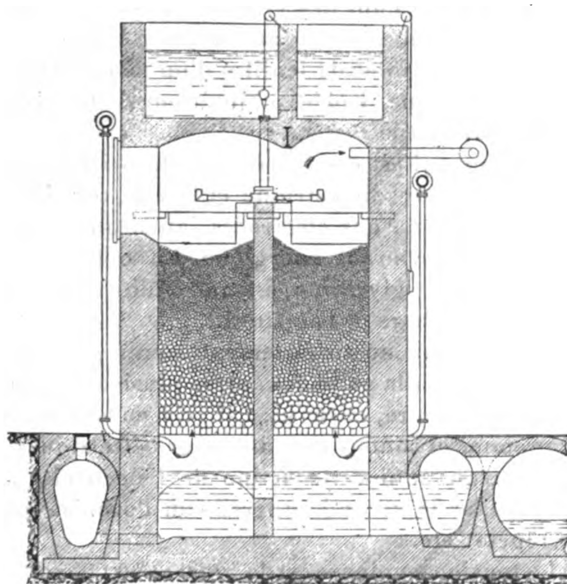
Le système Tindal n'a reçu jusqu'ici qu'assez peu d'applications. Des appareils ont fonctionné à Paris, à l'exposition d'hygiène de 1896, à Bruxelles, à l'exposition internationale. Ils ne sont guère entrés dans le domaine pratique. Oudshorn et Blankenberghe les ont néanmoins employés.

On peut en dire autant des procédés qui ont

été présentés dans la suite par Abraham-Marmier, Otto et Vosmaer : ils ne sont pour ainsi dire pas sortis du domaine expérimental.

Nous en dirons, toutefois, quelques mots, ne fût-ce que pour résumer l'historique de cette question éminemment intéressante. La « Société industrielle de l'ozone » a tenté de mettre en usage les appareils Abraham-Marmier.

L'ozoniseur, dans ce système, est caractérisé, entre autres, par la présence, à l'extérieur de la caisse, d'un « déflagrateur », autrement dit d'un interrupteur d'étincelles, qui produit des décharges d'une fréquence beaucoup plus grande que celle que l'on obtient avec un interrupteur ordinaire, ce qui est favorable à la production de l'ozone.



Tour de stérilisation d'une usine d'épuration des eaux par l'ozone, système Siemens et Halske

Le rôle de ce déflagrateur est le même que celui de l'oscillateur employé en télégraphie sans fil.

Ce n'est au surplus qu'un oscillateur Hertz, constitué par deux sphères métalliques en regard et dérivées sur les bornes du secondaire du transformateur.

Cet oscillateur permet, en plus, de suivre la marche de l'opération et, dans une certaine mesure, de régler l'ozonisation.

On peut évaluer le potentiel des courants secondaires produisant les décharges à quarante mille volts, comme dans le système de Tindal.

Les surfaces de décharge sont représentées par des plaques de verre de 1 mètre carré ; les deux électrodes sont refroidies à l'eau, au moyen de boîtes métalliques, qui sont mises à la tension de quarante mille volts.

Le courant d'eau n'est pas continu ; il est interrompu, à l'entrée et à la sortie des caisses, c'est-à-dire que le liquide réfrigérant, amené par une conduite, se déverse dans un récipient, d'où il tombe en pluie finement divisée dans un entonnoir à fond plat et pourvu d'un tube qui dirige l'eau vers l'intérieur de l'appareil ; la même chose se produit à la sortie. Cette disposition a pour objet d'assurer un bon isolement, cette pluie présentant à l'électricité qui pourrait tendre à s'écouler une résistance énorme.

Quant à la tour de stérilisation, elle est assez mal connue. Nous n'en parlerons pas.

Le stériliseur Otto mérite une mention spéciale à raison de sa forme caractéristique et originale.

La tour est partagée en deux compartiments superposés, en maçonnerie.

L'ozone est envoyé dans la partie supérieure où des injecteurs le mélangent à l'eau, dans laquelle il se dissout plus ou moins complètement ; l'eau ainsi traitée s'écoule dans le compartiment inférieur où des cailloux entassés en une couche d'épaisseur moyenne la divisent fortement et font qu'elle présente à l'ozone, avec lequel elle est à nouveau mise en contact, une grande surface de dissolution.

En principe, les injecteurs employés dans ce système sont constitués de tubes effilés plongeant dans la capacité supérieure de la tour. Ces tubes sont embranchés sur une canalisation d'eau, laquelle est soumise à une pression assez forte ; le conduit à ozone communique avec les injecteurs par des embranchements s'ouvrant latéralement dans lesdits injecteurs. Le courant énergique d'eau entraîne l'ozone qui se mélange intimement à l'eau.

L'ozoniseur est non moins original.

Il se compose d'une grande capacité cylindrique, en fer, mise à la terre ; un arbre isolé avec le plus grand soin et animé d'un mouvement de rotation assez rapide porte des disques d'aluminium placés perpendiculairement à l'axe.

L'air est envoyé par un large tube à la partie inférieure et il ressort par un autre tube, prenant naissance également au bas du réservoir.

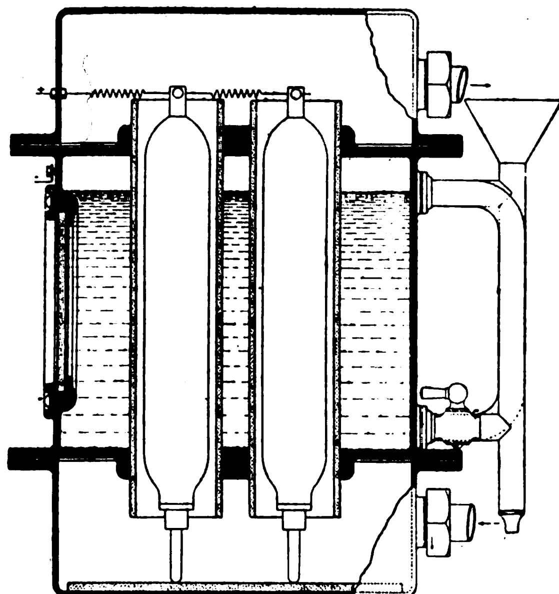
Celui-ci est, comme nous l'avons vu, mis à la

terre ; il est, en plus, relié à l'un des pôles du secondaire du transformateur ; l'autre pôle est rattaché, par l'intermédiaire de l'arbre, aux disques d'aluminium ; c'est entre ces disques tournants et le cylindre que se produisent les décharges qui ont pour effet de transformer l'oxygène de l'air en ozone.

La tension employée est de vingt mille volts environ.

Les brevets d'Otto sont exploités par la Cie de l'ozone française.

Nous ne dirons rien de l'ozoniseur Vosmaer



Ozoniseur Siemens et Halske pour l'épuration des eaux

qui ne semble pas différer essentiellement de celui de Siemens et Halske. On ne possède pas de détails précis à son sujet. Il n'a pas, croyons-nous, de diélectrique.

Le procédé Vosmaer, de même que celui de Otto paraissent avoir rencontré une certaine faveur.

Des postes d'essai pour le système Vosmaer ont été établis à Amsterdam.

La tour de Vosmaer a une dizaine de mètres de hauteur et est remplie d'eau déversée à la partie supérieure en un flux énergique et s'écoulant semblablement par le bas.

L'air ozonisé est envoyé sous forte pression dans la tour.

Cette grande pression favorise la dissolution, mais exige l'emploi de machines soufflantes énergiques, auxquelles, comme il sera indiqué ultérieurement, la société Siemens et Halske a préféré renoncer afin d'obtenir un réglage plus facile de l'envoi d'ozone dans les tours.

Le procédé Siemens a fait l'objet d'expériences nombreuses et l'installation suivante a spécialement été construite pour les essais.

Puisée au moyen d'une pompe à force centrifuge, l'eau est envoyée dans un réservoir placé à une certaine hauteur, d'où on la fait s'écouler, en passant par des filtres dans la tour de stérilisation ; le liquide est déversé sur un plateau percé d'ouvertures nombreuses qui distribue l'eau uniformément sur toute la section de la tour ; celle-ci, de même que les appareils de ce genre que nous rencontrerons dans la suite, contient des cailloux, qui divisent considérablement le liquide, de façon à lui donner une grande surface.

On facilite ainsi la dissolution de l'ozone et la réaction du gaz sur les bactéries qui sont brûlées. L'ozone est envoyé à la partie inférieure de la tour ; il est obtenu dans un dispositif du type dont nous avons décrit le principe.

L'air, aspiré de l'extérieur au moyen d'une pompe, traverse un dessicateur, puis l'ozoniseur où l'oxygène se condense, s'électrise et se transforme en ozone. Le mélange d'air et d'ozone est enfin amené au contact de l'eau à épurer dans la tour de stérilisation ; l'excédent s'échappe par le haut de la tour.

C'est sur ce même plan que sont établies les grandes usines de distribution et que la Société Siemens et Halske a construit un poste d'expérience mobile agencé sur deux voitures.

Dans toute installation de l'espèce, on peut donc distinguer deux groupes d'instruments. D'une part, les appareils électriques et moteurs avec les ozoniseurs, pour la production de l'ozone ; d'autre part, les tours d'épuration, filtres, etc. Les premiers comprennent une machine à vapeur et, le cas échéant, une machine électrique de réserve, une machine soufflante, des pompes à force centrifuge, un alternateur et des transformateurs. Ajoutons aux seconds déjà cités, outre les accessoires indispensables dont il sera parlé plus loin, les instruments de sécurité tels que soupape de sûreté, interrupteurs de courant, etc.

Le poste d'expérimentation dont nous avons donné la description sommaire peut livrer une quantité d'eau épurée de 10 centimètres cubes par heure ; il a été utilisé, pour des essais effectués par l'Institut Koch, et, également, par les services publics d'hygiène. Les appareils mobiles

montés sur chariots, cités antérieurement, ont servi aux mêmes usages ; ils ont servi notamment, de même que les premiers d'ailleurs, aux longues et patientes recherches auxquelles s'est livrée la Société Siemens et Halske.

Tous les essais ont mis en évidence la grande valeur de l'ozone comme stérilisant et fait voir que même des eaux infectées au plus haut degré sont épurées dans une mesure qui est rarement atteinte par les autres procédés.

Nous citerons, à titre d'exemple, les chiffres suivants. Dans des expériences effectuées par la Société Siemens, des échantillons d'eau contenant des bactéries respectivement dans les proportions de 53.500, 108.370 et 110.147, après avoir été soumis à l'action de l'ozone, ne contenaient plus, après le traitement par ce gaz, que 0,10 et 2 bactéries. D'autres essais, effectués par M. Ohlmüller et Prall, du service de la santé, furent non moins concluants et montrèrent que les microbes pathogènes du choléra, du typhus, etc., avaient été complètement anéantis. De l'eau, chargée avant l'épuration d'une proportion de microbes égale à 38.330, ne contenait, après application du procédé, que 8 microbes ordinaires et pas de microbes du choléra, bien que ceux-ci eussent été introduits intentionnellement dans le liquide mis à l'épreuve. Evidemment, des expériences de ce genre demandent des précautions toutes spéciales; mais leurs résultats ont d'autant plus de valeur que les quantités d'eau analysées étaient plus considérables que celles employées d'ordinaire dans les essais du même genre.

Au lieu d'opérer, comme cela se fait habituellement, sur un centimètre cube d'eau, MM. Proskauer et Stabsarzt, de l'Institut Koch, ont porté leurs recherches sur 180 à 200 centimètres cubes de liquide pour chacune des qualités essayées. Néanmoins, ils n'ont trouvé aucune trace de microbes dans différents échantillons d'eau où avaient été introduits des microbes du choléra, du typhus, de la dysenterie, etc.

Bref, ces multiples expériences, répétées pendant plusieurs années par les savants les plus versés dans la bactériologie, la chimie et la médecine, ont nettement prouvé l'efficacité de l'ozone et ont reçu une consécration pratique par la création des importantes usines de Paderborn et de Wiesbaden.

***

Aux usines de Paderborn, l'eau traitée est celle des sources du Pader qui n'est pas toujours exempte de bactéries.

L'eau est envoyée dans des tours de stérilisation, au nombre de deux, ayant quatre mètres de hauteur. Ces tours sont construites en béton et affectent la forme générale des tours de Gay-Lussac dont l'emploi est fort répandu dans l'industrie chimique; différentes fabrications recourent à des appareils de ce genre pour le lavage et la dissolution des gaz, la récupération de traces de gaz, etc.

Celles de Paderborn sont toutes deux divisées en quatre compartiments semblables par des muraillements verticaux, en croix, de façon que chacune forme, en réalité, quatre tours distinctes au sommet desquelles est distribuée en pluie aussi uniforme que possible l'eau à purifier, provenant d'un réservoir placé au haut de la tour. Le liquide s'écoule sur des matières inertes, du gravier généralement; la couche de gravier, constituée de cailloux de la grosseur d'un œuf de pigeon, à la partie supérieure et de plus en plus volumineux, a environ deux mètres d'épaisseur; elle repose sur une sorte de grille qui divise les puits en deux parties superposées; la partie inférieure est un récipient à eau, d'où le liquide purifié est finalement envoyé dans un réservoir commun d'où les pompes rotatives les distribuent dans les canalisations.

Fortement divisée par les matières inertes qui remplissent la tour, l'eau est mise en contact avec l'ozone, lequel est envoyé à la partie inférieure de chaque tour et ressort par la partie supérieure; l'ozone accomplit un trajet fermé complet; l'air nécessaire est éventuellement introduit par le robinet d'admission dont est pourvue la tuyauterie de transport du gaz.

La quantité d'eau traitée dans chaque puits est de 15 à 20 mètres cubes par heure, ce qui exige de 30 à 40 mètres cubes d'air ozonisé de teneur convenable.

L'ozoniseur Siemens et Halske est de la forme que nous avons esquissée au début de cette note. Chaque ozoniseur se compose de deux tubes de verre, de grande section, à l'intérieur duquel se trouve un second tube, en aluminium, qui est connecté au pôle du secondaire du transformateur.

Ces deux tubes entre lesquels on produit l'effluve, sont placés verticalement dans un appareil

en fonte que deux cloisons horizontales divisent en trois chambres superposées. La partie inférieure est la chambre d'introduction de l'air ; celui-ci y est distribué aux cylindres. A la partie supérieure se rassemble l'ozone qui est envoyé ensuite aux tours d'épuration. Quant à la partie médiane, c'est un réservoir à eau dans lequel plongent les cylindres. Le liquide a un double but. Tout d'abord, il sert au refroidissement ; en vue de lui faciliter cette tâche, on dispose une tubulure latérale permettant la circulation de l'eau. Ensuite, il sert à l'amenée du courant; en effet, le récipient de fonte est relié à la terre et constitue, avec l'eau, l'électrode négative. L'électrode positive est représentée par les cylindres d'aluminium intérieurs. Un conducteur, isolé avec le plus grand soin, relie la partie supérieure des cylindres métalliques à l'un des pôles du secondaire du transformateur, dont l'autre pôle est mis à la terre.

Intérieurement comme extérieurement, le conducteur à haute tension est parfaitement protégé contre tout contact accidentel. Il est isolé à la porcelaine et logé, en dehors du réservoir, dans les colonnes creuses qui forment l'échafaud sur lequel sont disposés les ozoniseurs.

Grâce à cette disposition, la surface extérieure de chaque ozoniseur se trouve constamment au même potentiel que la terre et il ne peut résulter aucun danger, pour le personnel, du voisinage des appareils.

L'ozoniseur se présente sous l'aspect d'une caisse prismatique à base rectangulaire étroite percée d'un certain nombre de fenêtres pour permettre la surveillance de la marche du fonctionnement; on se rend aisément compte de la façon dont l'opération est conduite par la seule couleur du gaz ; celui-ci prend une coloration bleue bien tranchée quand la réaction se produit comme il le faut.

Un ozoniseur de ce genre est alimenté par un courant à une tension de 8.000 volts; il consomme un cheval-vapeur et produit par heure de 13.5 à 27 grammes d'ozone, selon le degré d'humidité de l'air fourni et traité par l'effluve.

L'appareil de Paderborn comprend neuf ozoniseurs en trois groupes de trois appareils chacun. Deux groupes sont constamment en service et le troisième sert de réserve.

Ces ozoniseurs sont disposés, comme nous l'avons dit, sur une charpente en fer qui porte également la tuyauterie.

Au-dessus de chaque groupe d'ozoniseurs est placé un transformateur; il y en a donc trois au total. Il a été indiqué précédemment comment les connexions électriques du secondaire sont établies afin d'éviter tout accident de personne. Les transformateurs eux-mêmes sont protégés par un revêtement de tôle.

Les transformateurs sont alimentés par le courant d'un alternateur; cette dernière machine est actionnée en temps ordinaire par un moteur à gaz, qui fait également fonctionner une machine soufflante, laquelle provoque la circulation de l'ozone, et deux pompes à force centrifuge.

En cas de besoin, le moteur à gaz peut être remplacé par une machine électrique à courant continu qu'alimente une canalisation publique.

En résumé, la marche de l'opération est la suivante.

La machine soufflante, actionnée par le moteur à gaz ou le moteur électrique, insuffle l'air dans les ozoniseurs par un canal qui se subdivise en trois embranchements.

L'air est amené à la partie inférieure de ces appareils et envoyé dans les intervalles entre les capacités cylindriques qui constituent les électrodes.

Sous l'influence des décharges silencieuses se produisant entre celles-ci, l'oxygène de l'air se condense, s'électrise et se transforme en ozone, lequel donne à l'air une coloration bleue nettement apparente. Cette propriété reçoit son application : des fenêtres sont pratiquées dans les parois et garnies de carreaux de vitre de façon que l'on puisse suivre la marche du travail.

Les décharges sont produites par un courant alternatif de 8000 volts, qui est obtenu au moyen de trois transformateurs ; ceux-ci reçoivent eux-mêmes leur courant d'un alternateur soit par la machine à gaz, soit par la machine électrique.

L'air, introduit à la partie inférieure des ozoniseurs, arrive donc ozonisé à la partie supérieure des appareils en question, d'où il est dirigé sur les tours de stérilisation; il y débouche au bas, sous la grille et traverse ensuite toute la couche de cailloux sur laquelle ruisselle l'eau à épurer.

L'ozone se dissout en partie dans ce liquide et, partiellement, détruit les matières étrangères en les oxydant; l'air, l'ozone non dissous, l'oxygène résultant de la réaction de l'ozone sont entraînés par un tube latéral, au haut des tours et retournent à la machine soufflante et aux ozoniseurs; une

addition d'air est opérée régulièrement par une valve.

Quant à l'eau qui a dissout, grâce à son grand état de division, une certaine proportion d'ozone, elle s'écoule dans des réservoirs formant le bas des tours de stérilisation et se rassemble dans un bassin d'où elle est puisée pour être distribuée.

Mais elle contient encore, au sortir des tours, une petite quantité d'ozone dissous qui n'a pas été réduite à l'état d'oxygène. Elle doit en être débarrassée.

Dans ce but, on la fait se répandre, pour passer dans le réservoir commun, sous forme de cascade, dans des récipients placés en gradins.

Indépendamment des appareils que nous avons cités, l'installation comporte encore quelques instruments dont l'importance est loin d'être secondaire ; nous voulons parler des organes de sécurité concourant à empêcher que de l'eau non épurée ne soit livrée accidentellement aux consommateurs.

Cet accident, qui pourrait avoir des conséquences extrêmement graves, peut résulter de différentes causes ; par exemple, d'une interruption du courant électrique, d'un arrêt dans la circulation de l'air ozonisé, de l'insufflation exclusive d'air atmosphérique dans les tours de stérilisation.

Des dispositions sont prises pour que tout défaut de cette nature soit immédiatement décelé et, non seulement décelé, mais encore rendu, automatiquement, inefficace.

L'eau à purifier est envoyée dans un grand réservoir, placé à la partie supérieure de chacune des tours, d'où un canal vertical, prenant naissance au fond du récipient et se partageant, à sa partie inférieure, en quatre embranchements, la distribue dans les quatre compartiments.

Le tube d'écoulement est pourvu d'une soupape de sûreté. Dès que cette soupape fonctionne, l'eau cesse de s'écouler dans le tuyau et, partant, dans les tours.

On voit immédiatement qu'il suffit que la soupape entre en action dans chacun des cas spécifiés plus haut pour que le réseau desservi ne reçoive jamais d'eau non épurée.

L'électricité fournit aisément une solution pratique de ce problème.

Un interrupteur à minima (c'est-à-dire un électro-aimant dont l'armature est maintenue au contact des pôles, malgré l'action antagoniste d'un ressort ou d'un contre-poids aussi longtemps que l'enroulement est parcouru par un courant donné), est monté dans le circuit d'alimentation des ozoniseurs.

S'il arrive accidentellement que le courant soit interrompu à l'un des groupes, ce qui a pour conséquence l'arrêt de la production de l'ozone, l'interrupteur à minima fonctionne : son armature, cessant d'être attirée par les pôles de l'aimant, déclenche et ferme le circuit local dans lequel est établi l'électro qui commande la soupape d'écoulement du liquide à purifier.

Cette dernière manœuvre se produit encore quand l'envoi d'air est suspendu dans l'ozoniseur. En temps normal, la pression du courant gazeux maintient soulevé un disque d'aluminium qui retombe dès que la tension cesse et ferme, lui aussi, le circuit local.

Dans chaque cas, le fonctionnement de la soupape est accompagné de la chute d'un clapet indicateur numéroté qui permet au personnel de se rendre immédiatement compte du côté où doit se porter son attention. Au besoin, une sonnerie est mise en branle par le déclenchement du volet de l'indicateur et persiste dans son mouvement de vibration jusqu'à ce que le défaut ait été réparé.

Grâce à ces mesures, qui assurent une sécurité complète, l'installation de Paderborn fonctionne dans des conditions très remarquables.

Nous avons vu également les précautions auxquelles on a recouru pour mettre le personnel à l'abri de tout contact avec les conducteurs à haut potentiel ; les fils, fixés sur des isolateurs de porcelaine, sont logés dans les montants creux des étagères sur lesquelles sont disposés les ozoniseurs ; la surface extérieure de ceux-ci est, en outre, mise à la terre.

Chaque ozoniseur, avons-nous dit, avec une tension de huit mille volts, produit à l'heure de 13.5 g. à 27 g. d'ozone. Dans les cas les plus fréquents, cette quantité d'ozone suffirait à l'épuration de l'eau consommée par une agglomération de deux mille quatre cents à quatre mille huit cents individus, en admettant une consommation journalière de 100 litres par tête.

L'eau employée à Paderborn est exempte de fer et de particules en suspension ; de même qu'à Wiesbaden, l'épuration demande environ 1.3 g. d'ozone par mètre cube de liquide. La quantité d'eau livrée à l'heure, par l'installation, est éva-

luée à soixante ou quatre vingts mètres cubes; elle suffit à l'alimentation des habitants de la localité.

*
* *

Les usines de Wiesbaden sont plus importantes, au point de vue de la production journalière, que celles de Paderborn ; elles fournissent à la ville deux cent cinquante mètres cubes d'eau à l'heure.

D'une façon générale, l'installation de Wiesbaden et celle de Paderborn sont assez peu différentes.

Il est à remarquer cependant que la production horaire indiquée ci-dessous dépasse les besoins normaux de l'endroit.

Aussi, afin d'obtenir une utilisation rationnelle des appareils, a-t-on divisé l'usine en deux parties dont l'une constitue la réserve pendant la plus grande période de l'année et n'est employée que pendant les mois les plus chauds, quand l'autre ne suffit plus aux nécessités. L'installation est double dans toutes ses parties. Chaque moitié peut débiter cent vingt-cinq mètres cubes d'eau par heure et comprend, au total, quarante-huit ozoniseurs; les bassins en sont groupés en deux batteries de vingt-quatre instruments séparées par un chemin de communication.

De même qu'à Paderborn, les ozoniseurs sont rangés sur un bâti de fonte, en six rangées de quatre, formant trois groupes de huit appareils ayant chacun leur transformateur.

L'un des pôles du secondaire de chaque transformateur est mis à la terre, de même que l'extérieur des ozoniseurs Siemens; l'autre pôle communique, par des connexions isolées avec le plus grand soin, avec l'électrode intérieure des appareils.

Deux machines soufflantes (une pour chaque partie de l'installation), fournissent l'air aux ozoniseurs et provoquent la circulation des gaz et leur envoi dans les tours de stérilisation; ces dernières, au nombre de huit (deux fois quatre; trois en service, une de réserve) ne différeraient en aucun point de celles de Paderborn si l'on n'avait jugé inutile de leur adjoindre des bassins en gradins que l'on a disposés à Paderborn pour débarrasser l'eau des dernières traces d'ozone.

L'eau à purifier est envoyée dans des réservoirs placés au sommet des tours; elle s'écoule dans celles-ci, y subit l'action de l'ozone, puis se recueille, stérilisée, dans un bassin.

A Paderborn, il n'y a que deux pompes centrifuges; les établissements de Wiesbaden en comptent quatre.

Il y a, de même, deux dynamos, deux alternateurs et deux machines à vapeur de soixante chevaux. Les appareils moteurs de chacune des deux parties de l'installation peuvent aisément se substituer l'un à l'autre, de façon à laisser toute l'élasticité désirable pour faire face aux exigences pouvant se manifester accidentellement

Des puits établis le long d'un bras du Rhin à Schierstein fournissent aux usines de Wiesbaden l'eau nécessaire; au début, cette eau ne contenait pas de fer et, conformément aux indications formelles des autorités locales, la Société Siemens et Halske, forte d'ailleurs des stipulations du contrat conclu, et bien que ses chimistes eussent prévu l'inconvénient qui ne tarderait pas à se produire, ne prévit aucun dispositif spécial pour la séparation du métal dont il est question.

Or, dans la suite, la coloration jaune de plus en plus marquée de l'eau fournie mit en évidence la présence de particules de fer; aujourd'hui la proportion de métal est trop forte pour que l'eau puisse encore être tenue pour susceptible d'être employée comme eau potable. Il serait indispensable, pour qu'elle pût servir à cet usage de la débarrasser, soit avant, soit après son passage dans l'ozoniseur, des corps étrangers.

Ajoutons, toutefois, que les essais auxquels il a été procédé ont démontré que la présence du fer n'a nullement pour effet d'augmenter la consommation d'ozone.

En pratique, il n'est plus nécessaire de soumettre les eaux obtenues à la sortie des ozoniseurs aux analyses bactériologiques dont il a été question; il suffit de s'assurer, au moyen d'un papier ozonoscopique ou de tout autre procédé analogue, que l'eau contient une proportion d'ozone suffisante pour la destruction des germes nuisibles.

L'effet chimique de l'ozone n'altère pas le goût de l'eau, mais il augmente la teneur en oxygène; l'ozonisation n'a pas pour conséquence d'amener, au sein de l'eau, des corps qui ne s'y trouvaient pas et le liquide ne produit de réaction que quelques secondes après la sortie de la tour.

On trouvera ci-après le résumé des résultats de diverses analyses, qui viendront à l'appui de

ce que nous disions plus haut relativement à l'efficacité de la stérilisation.

ANALYSE	NOMBRE DE bactéries par cm³ avant l'ozonisation	après l'ozonisation	BACTÉRIES	OBSERVATIONS
Siemens et Halske....	53.500	0	—	—
	110.147	2	—	—
Ohlmüller et Prall......	38.330	8		Bactéries pathogènes complètement disparues.
	16.590	9	Choléra Typhus	
Prosleauer et Schüder...	600.000	0	Choléra	
	600.000	0	Typhus	
—	600.000	0	Dyssentrie	
Siemens et Halske....	39.000	8	—	Essais effectués à Wiesbaden.
	26.000	12	—	
—	55.000	5	—	

Confirmés par des résultats identiques obtenus notamment à l'Institut Pasteur, ces chiffres défient toute critique.

L'emploi de l'ozone fait donc disparaître entièrement les bactéries des eaux traitées alors qu'avec les filtres au sable on parvient simplement à réduire le nombre de ces infiniment petits, jusqu'à une limite qui, il est vrai, suffit généralement pour les usages courants.

Utilisé dans des appareils fonctionnant, comme ceux de la Société Siemens et Halske, d'une façon automatique et pourvus d'instruments de sûreté donnant toutes garanties d'une stérilisation parfaite, l'ozone paraît devoir être appliqué avec avantage dans les pays coloniaux où, par suite de l'inhabileté des employés, on ne peut compter sur un service régulier comme l'exigent les filtres au sable.

Un autre emploi est la décoloration des eaux contenant des particules organiques exerçant sur la couleur et le goût du liquide une influence que la méthode ordinaire ne parvient pas à supprimer.

D'autres cas peuvent se présenter encore où l'ozone présenterait de sérieux avantages; la difficulté d'établir des filtres suffisants, la nécessité de disposer (pour les endroits où la proportion de bactéries dans l'eau augmente parfois rapidement) d'une réserve promptement mise en en service, etc., sont des circonstances de nature à justifier l'installation d'ozoniseurs et de tours de stérilisation.

Nous ferons remarquer, pour terminer, les progrès réalisés, par la maison Siemens et Halske, dans la construction des appareils en question.

Au début, l'ozoniseur était constitué d'électrodes séparées par du verre et refroidies par un courant d'eau ; la tour de stérilisation était un réservoir de fer contenant de l'eau ; le liquide, introduit par le haut, s'écoulait par une tubulure latérale à la partie inférieure après avoir subi l'action de l'ozone qui s'y dissolvait en partie ; afin d'assurer une surface de dissolution suffisante, le gaz était introduit par un tuyau enroulé en circonférence de cercle vers le bas du récipient, à l'intérieur de celui-ci, et présentant, dans cette partie, de nombreux orifices d'échappement.

Cet appareil, auquel on pourrait encore, dans certains cas, recourir, exigeait que l'ozone fût envoyé sous une pression assez grande ; on se dispense de cette obligation dans le système actuel ; on échappe de la sorte à la nécessité de faire usage de machines soufflantes puissantes et, ce qui est très avantageux, on parvient à régler plus aisément la marche de l'opération de façon que la quantité d'air ozonisé envoyé dans les tours soit toujours en rapport avec le volume d'eau débité.

Si, d'une part, les appareils pour la stérilisation par le système Siemens sont compliqués et plus coûteux que ceux que demandent d'autres systèmes, si, conséquence naturelle de ce qui vient d'être dit, le prix (par mètre cube d'eau) de l'épuration est quelque peu supérieur, il est à noter, par contre, que le liquide obtenu est d'une pureté plus grande et que l'emplacement, toujours considérable, exigé pour l'installation de filtres au sable représente plus de vingt fois celui qui suffit à l'établissement des ozoniseurs.

Cette considération peut avoir en pratique une grande valeur.

E. G.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant : A. Bonnet.

Tome XLI. Samedi 12 Novembre 1904. 11e Année. — N° 46

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

ENROULEMENTS DES DYNAMOS A COURANT CONTINU *(suite)* (1)

IV. — Etude des Enroulements en anneau

A. *Généralités.* — Nous allons chercher de quelle manière il faut réunir les diverses sections pour réaliser un enroulement déterminé. Une section est composée d'un certain nombre de spires enroulées dans le même sens pour toutes les sections. Nous supposerons tout d'abord qu'une section est formée par une seule spire de fil, d'épaisseur négligeable.

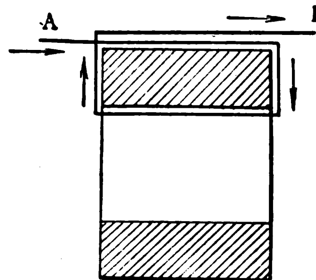


Fig. 10

Considérons une des sections (fig. 10). Soit $f \longrightarrow$ le sens de la *f. e. m.* induite. Le courant entre par A, suit la spire dans le sens de la flèche et sort par B. Pour relier entre elles les diverses sections, on peut donc assimiler chacune d'elles à une génératrice appliquée sur la surface extérieure de l'anneau et considérer A et B comme les extrémités de cette génératrice. Toutes les formules établies pour l'enroulement en tambour s'appliquent sans modifications, à condition de supposer que les jonctions sont faites sur les 2 faces de l'anneau.

Supposons maintenant que chaque section soit formée par un certain nombre de spires (fig 11). Soient ωA et ωB deux lignes neutres consécutives. Si, à un instant déterminé, la

(1) Voir les numéros 43, 44 et 45 de l'*Éclairage Électrique*.

**

section considérée est comprise tout entière entre A et B, le sens de sa *f. e. m.* est bien déterminé, et si les autres sections sont placées d'une façon analogue par rapport aux autres lignes neutres, le raisonnement employé plus haut pour identifier l'enroulement en anneau avec l'enroulement en tambour est encore applicable, au moment considéré.

Supposons maintenant que la section considérée empiète sur 2 arcs de polarités différentes AB, BC, situés à droite de ωB sont en opposition avec les *f. e. m.* induites dans les spires situées dans le voisinage de ωB (fig. 12). Les *f. e. m.* induites dans les spires situées à gauche de la même ligne neutre. Comme les jonctions partent des extrémités P et Q de la section, la *f. e. m.* résultante aura son sens déterminé par la position de la spire médiane par rapport à la ligne neutre ωA.

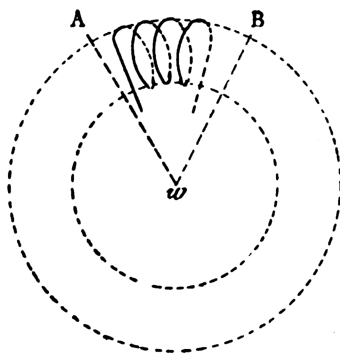


Fig. 11

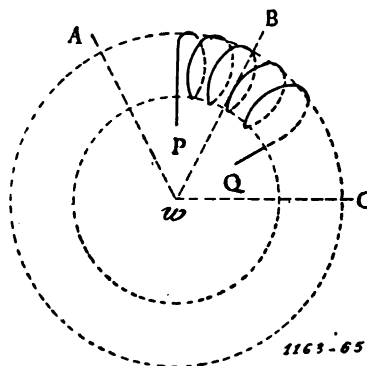


Fig. 12

Si cette spire médiane est à droite de ωA, la *f. e. m.* résultante sera dirigée d'avant en arrière, et si elle est à gauche de ωA d'arrière en avant.

Puisque nous nous proposons de constituer des circuits composés d'un certain nombre de sections en tension dans chacun d'eux, il résulte de ce qui précède que, pour étudier l'enroulement, nous avons dans tous les cas, à ne considérer que les positions des spires médianes, et que toutes les formules trouvées pour l'enroulement tambour s'appliqueront encore ici :

Au lieu de dire extrémité avant ou arrière des génératrices, on dira extrémité avant ou arrière des sections.

B. — Enroulement particulier a l'anneau.

Considérons (fig. 13) des génératrices *a*, *b*, *c*, *d*..... placées sur la surface extérieure d'une armature, les *f. e. m.* de ces génératrices était dirigées dans le sens de la flèche. Au lieu de réunir ces génératrices sur les faces de l'armature, on peut joindre l'extrémité arrière de *a* à l'extrémité avant de *b*, l'extrémité arrière de *b* à l'extrémité avant de *c*, etc..., mais il faut pour cela que les fils de jonction passent à l'intérieur de l'armature. C'est ce qui se présente pour l'anneau.

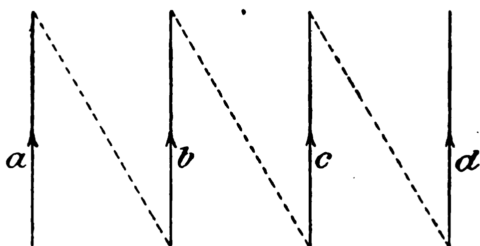


Fig. 13

La définition du pas est la même que pour l'enroulement en tambour. Nous étudierons d'une manière détaillée le cas où l'on prend un pas unique, et nous nous bornerons à indiquer les résultats auxquels on arrive quand on marche alternativement avec des pas y_1 et y_2.

α. — *Emploi d'un pas unique.* — 1° Considérons un anneau portant sur sa surface extérieure N génératrices uniformément réparties, et supposons que cet anneau soit placé dans le champ de $2p$ pôles. Nous aurons encore ici $2p$ lignes neutres ωA, ωB,.... Si nous supposons réalisé un enroulement déterminé, en projetant cet enroulement sur l'une des faces de l'anneau, la face avant par exemple, on obtient un polygone étoilé régulier.

On en déduit immédiatement que, pour que l'enroulement soit possible, il faut que le

pas y) soit impair et 1er avec N. Ceci étant établi, prenons pour génératrice origine, la génératrice 0) à droite de ω A et infiniment voisine de A et supposons que sa *f. e. m.* soit dirigée d'avant en arrière (fig. 14). Il faut joindre 0) à une génératrice M, telle que la *f. e. m.* de cette dernière soit dirigée dans le même sens que celle de 0. Par suite M se trouvera sur un arc de même polarité que AB, l'arc CD par exemple (¹).

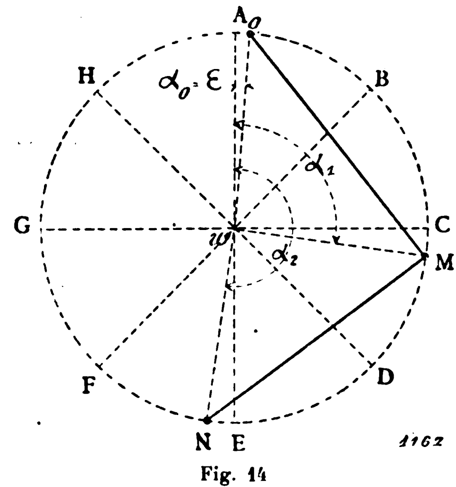


Fig. 14

De même M devra être réunie à N située sur l'arc EF de même polarité que CD, etc..... Les génératrices O, M, N......., seront encore appelées génératrices successives de l'enroulement et nous les numéroterons 0, 1, 2, 3.......

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$......., étant les angles que font les rayons $\omega 0, \omega 1, \omega 2$......., avec la ligne neutre ωA, nous avons :

$$\left.\begin{array}{lll} \text{génératrice} & 0) & \alpha_0 = \varepsilon \quad \varepsilon \text{ infiniment petit} \\ \quad — & 1) & \alpha_1 = \varepsilon + y\dfrac{2\pi}{N} \\ \quad — & 2) & \alpha_2 = \varepsilon + 2y\dfrac{2\pi}{N} \\ \ldots\ldots\ldots & & \ldots\ldots\ldots \\ \quad — & n) & \alpha_n = \varepsilon + ny\dfrac{2\pi}{N} \\ \quad — & n+1) & \alpha_{n+1} = \varepsilon\ (n+1)\, y\dfrac{2\pi}{N} \\ \ldots\ldots\ldots & & \ldots\ldots\ldots \end{array}\right\} \text{N = nombre de génératrices}$$

(¹) On peut, au lieu de prendre la génératrice M sur l'arc CD, la choisir sur l'arc AB lui-même. Le pas y sera alors $< \frac{\pi}{p}$. Nous aurons

$$\alpha_0 = \varepsilon$$
$$\alpha_1 = \varepsilon + y\frac{2\pi}{N}$$
$$\alpha_2 = \varepsilon + 2y\frac{2\pi}{N}$$
$$\ldots\ldots\ldots$$
$$\alpha_n = \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N}$$
$$\ldots\ldots\ldots$$

Les génératrices 0, 1, 2....., n, seront en tension si les inégalités suivantes sont vérifiées.

$$\text{génératrice } 1) \quad \varepsilon + y\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p}$$
$$\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots$$
$$— \quad n) \quad \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p}$$

On aura opposition à la génératrice n) si :

$$(\lambda) \quad \text{génératrice } n) \quad \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} > \frac{\pi}{p}$$
$$(\mu) \quad — \quad n-1) \quad \varepsilon + (n-1)y\frac{2\pi}{N} < \frac{\pi}{p}.$$

De (λ) on tire : $y \geq \frac{N}{2pn}$. Nous prendrons $y = \frac{N}{2pn}$ qui satisfait à (λ) et à (μ). (Comme dans les autres cas, on montre que le signe = convient seul pour que l'on puisse former $2p_1$ circuits, contenant chacun n génératrices, toutes en tension). On a : $y = \frac{N}{2pn} = \frac{2p_1}{2p} = \frac{p_1}{p}$ et $\frac{N}{2} = p_1 n$. y devant être impair et premier avec $\frac{N}{2}$, il faut nécessairement $p = p_1$. Dans ces conditions $y = 1$. Chaque génératrice est réunie à sa voisine. On a autant de circuits qu'il y a de pôles. Cet enroulement particulier est l'enroulement Gramme, suffisamment connu.

Ces génératrices seront en tension avec 0) tant que les inégalités suivantes seront vérifiées :

génératrice	1)	$\frac{2\pi}{p} < \varepsilon + y\frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$
—	2)	$\frac{4\pi}{p} < \varepsilon + 2y\frac{2\pi}{N} < \frac{5\pi}{p}$
....		....
—	n)	$2n\frac{\pi}{p} < \varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} < (2n+1)\frac{\pi}{p}$
—	$n+1$)	$(2n+2)\frac{\pi}{p} < \varepsilon + (n+1)y\frac{2\pi}{N} < (2n+3)\frac{\pi}{p}$
....		....

Comme il y a au moins une génératrice en tension avec 0), nous avons :

$$\frac{2\pi}{p} < \varepsilon + y\frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p},$$

c'est-à-dire :

$$y\frac{2\pi}{N} \geq \frac{2\pi}{p} \quad \text{et} \quad y\frac{2\pi}{N} < \frac{3\pi}{p}$$

Les premières parties des inégalités sont alors toujours satisfaites.

Considérons l'inégalité générale relative à la génératrice n) :

$$\varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} < (2n+1)\frac{\pi}{p}$$

Pour que l'opposition se produise à la génératrice n) il faut d'abord que :

$$\varepsilon + ny\frac{2\pi}{N} > (2n+1)\frac{\pi}{p}$$

ou :

$$y > \frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p} - \frac{N\varepsilon}{2\pi n}$$

On démontre, comme dans le cas des enroulements en tambour, que cette condition est équivalente à la suivante :

$$y \geq \frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$$

et que le signe = convient seul. Nous prendrons donc :

$$y = \frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}.$$

y ayant cette valeur, il y aura opposition à la génératrice n, à condition que la génératrice $n-1$ soit encore en tension avec les génératrices précédentes, c'est-à-dire que :

$$\varepsilon + (n-1)\,y\frac{2\pi}{N} < (2n-1)\frac{\pi}{p}$$

ou :

$$\varepsilon + (n-1)\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p} \cdot \frac{2\pi}{N} < (2n-1)\frac{\pi}{p}$$

ou :

$\varepsilon - \frac{\pi}{pn} < 0$, ce qui est vérifié car ε est infiniment petit.

Comme dans les enroulements en tambour, on démontre que y ayant la valeur $\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{N}{p}$, la

2me opposition se produit à la génératrice $2n$, la 3me à la génératrice $3n\ldots$, etc. Si l'on veut, par suite, avoir $2p_1$ circuits contenant chacun $\frac{N}{2p_1}$ génératrices, toutes en tension, on fera, dans la formule qui donne y, $\frac{N}{2p_1}=n$. Il vient alors :

$$y=\frac{\frac{N}{p_1}+1}{\frac{N}{p_1}}\frac{N}{p}=\frac{N+p_1}{p}$$

Remarque. — Si l'on prend la génératrice 0 à gauche de ωA, on obtient par le même raisonnement :

$$y=\frac{N-p_1}{p}$$

La formule générale donnant y est donc :

$$y=\frac{N\pm p_1}{p}$$

2° *Considérations sur la formule :* $y=\frac{N\pm p_1}{p}$
2 cas peuvent se présenter :

1°) $\frac{N}{2p_1}$ pair et $=2n$

$$N=4p_1n$$
$$y=\frac{2p_1.2n\pm p_1}{p}=\frac{p_1(4n\pm 1)}{p}$$

Pour que y puisse être premier avec N (condition géométrique), il faut que y ne contienne aucun des facteurs de p_1, ce qui exige :
$p=p_1$ K (K étant impair puisqu'il doit diviser $4n\pm 1$).

2°) $\frac{N}{2p_1}$ impair et $=2n+1$

$$N=2p_1(2n+1)$$
$$y=\frac{2p_1(2n+1)\pm p_1}{p}=\frac{p_1}{p}(2(2n+1)\pm 1)$$

On en déduit la condition

$$p=p_1\text{ K (K impair)}$$

3° *Résumé.* — Le pas y est donné par la formule :

$$y=\frac{N\pm p_1}{p}$$

y doit être impair et premier avec N et $p=$ multiple impair de p_1.

β. — *Emploi de 2 pas inégaux y_1 et y_2.* — On pourrait se proposer, dans le cas de l'anneau comme pour l'enroulement en tambour, d'avancer avec des pas alternativement égaux à y_1 et y_2.

Nous avons fait l'étude de cet enroulement, en employant toujours la même méthode et nous sommes arrivé aux conclusions suivantes :

Les pas y_1 et y_2 doivent être égaux entre eux et leur valeur est donnée par :

$$y_1=y_2=\frac{N\pm p_1}{p}$$

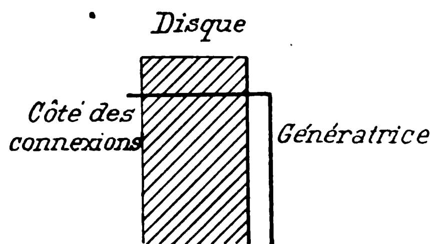
y_1 et y_2 impairs et premiers avec $\frac{N}{2}$.

C. — *Enroulement imbriqué pour l'anneau.* — En prenant des pas alternativement égaux à y_1 et $-y_2$, on obtient un enroulement analogue à l'enroulement imbriqué du tambour. On arrive aux formules suivantes :

$$y_1 - y_2 = \pm \frac{2p_1}{p} \quad \text{avec :} \quad \begin{cases} y_1 = \frac{N}{p} + 1 \\ y_2 = \frac{N}{p} - 1 \end{cases}$$

$$y_2 \text{ et } y_2 \text{ impairs, } \frac{y_1 - y_2}{2} \text{ 1}^{\text{er}} \text{ avec } \frac{N}{2}$$

Cet enroulement n'est possible que pour $p_1 = p$.



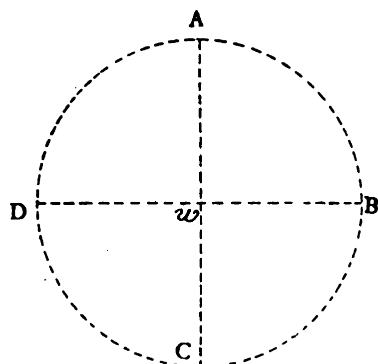
V. — Enroulements en disque

L'induit est formé de génératrices disposées suivant les rayons d'un disque tournant entre des pièces polaires (alternativement + et —) dont l'axe est perpendiculaire au plan du disque. Les génératrices sont réunies les unes aux autres de façon à constituer l'enroulement désiré. Les jonctions se font du côté du disque opposé aux génératrices afin qu'il n'y ait pas entrecroisement avec les génératrices (fig. 15). Les formules de l'induit en tambour (et en anneau) s'appliquent intégralement, à condition de considérer chacune des extrémités des rayons comme correspondant aux extrémités avant ou arrière des génératrices du tambour (ou des sections de l'anneau).

Il faut seulement remarquer que si l'on a $2p$ lignes neutres, elles correspondent à $4p$ pôles. Par suite, dans la formule (tambour).

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2p_1}{2p}$$

$2p = {}^1/_2$ du nombre des pôles.



8 pôles, 4 lignes neutres

Fig. 15

Il n'y a que $2p$ lignes neutres pour $4p$ pôles, puisqu'il n'y a que $2p$ pôles de chaque côté du disque.

APPLICATIONS NUMÉRIQUES

A. — Enroulements ondulés a 1 couche

a). — *Enroulement multiple simple.* — Dans cet enroulement, on a un nombre de circuits dérivés égal au nombre de pôles.

$$2p = 2p_1$$

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2p_1}{2p}$$

p étant multiple impair de p_1, on devra prendre :

$$\frac{N}{2p_1} = \frac{N}{2p} = \text{nombre pair}$$

1er Exemple numérique :

$$2p = 2p_1 = 4$$

$\frac{N}{2p} = \frac{N}{4}$ doit être pair. N pourra, par suite, prendre les valeurs : 8, 16, 24, 32....., etc.
Supposons N = 16. Alors :

$$y_1 = y_2 = \frac{16 \pm 4}{4} = 5 \text{ ou } 3$$

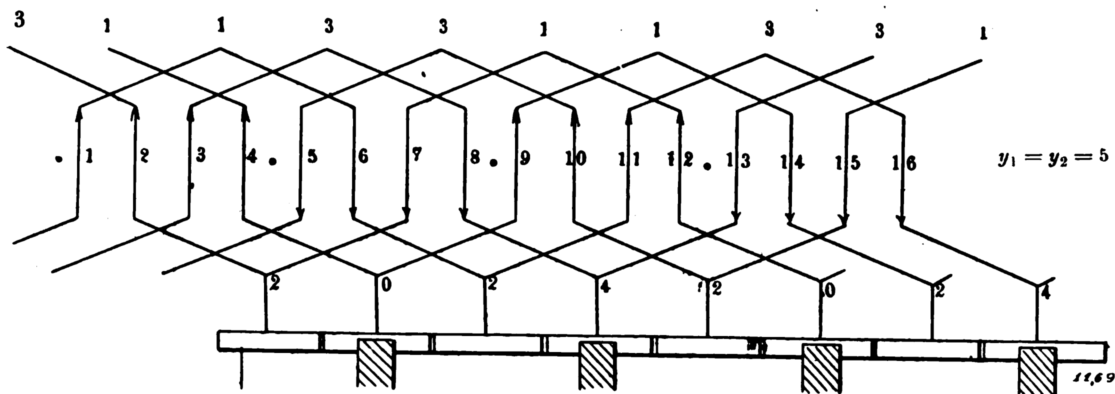


Fig. 16

Ces 2 nombres conviennent, car ils sont premiers avec 16 (fig. 16 et 17).

2me *Exemple numérique :*

$$2p = 2p_1 = 6$$

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 6}{6} = \frac{N}{6} \pm 1$$

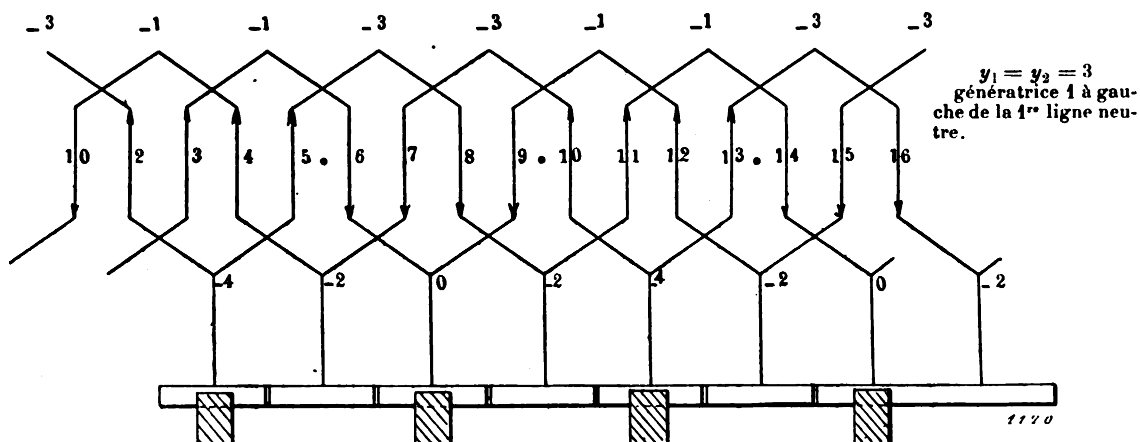


Fig. 17

Il faut que N soit multiple pair de $2p = 6$. N pourra donc prendre les valeurs :

12, 24, 36, 48,.....

Supposons N = 24. Alors :

$$y_1 = y_2 = \frac{24}{6} \pm 1 = 5 \text{ ou } 3$$

5 convient seul, car 3 n'est pas premier avec 24 (fi. 18).

b). — *Enroulement série simple.* — Dans cet enroulement, on a 2 circuits dérivés, quel que soit le nombre de pôles.

$$2p_1 = 2$$

1°) Si $p =$ multiple pair de p_1, $\frac{N}{2p_1}$ doit être impair.

2°) Si $p =$ multiple impair de p_1, $\frac{N}{2p_1}$ doit être pair.

D'autre part de :

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2p_1}{2p} = \frac{N \pm 2}{2p}$$

$y_1 = y_2 = 5$
6 balais

Fig. 18

On déduit que $N \pm 2 =$ multiple impair de $2p$. On choisira donc pour $N \pm 2$ des valeurs égales à des multiples impairs de $2p$, N satisfaisant à 1°) ou à 2°).

I[er] *Exemple numérique :*

$$2p_1 = 2 \qquad 2p = 6$$

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2}{6}$$

$y_1 = y_2 = 3$
génératrice 1 à gauche de la 1[re] ligne neutre (sig. —)

Fig. 19

Comme $p =$ multiple impair de p_1, $\frac{N}{2p_1}$ ou $\frac{N}{2}$ devra être pair ; c'est-à-dire que N devra être multiple de 4.

α) N = 4, 8, 12, 16, 20, 24,..... etc.

De plus, $N \pm 2$ doit être multiple impair de 6.

$N \pm 2 = 6, 18, 30, 42.....$ etc.

D'où :

β) N = 4, 8, 16, 20, 28, 32,..... etc.

Les valeurs communes à α) et β) sont les valeurs acceptables pour N. Ces valeurs sont :

$$4, 8, 16, 20 \ldots\ldots \text{etc.}$$

Prenons $N = 20$ (correspondant à $N =$ (multiple de 6) $+ 2$.

$$y_1 = y_2 = \frac{20 - 2}{6} = 3 \quad \text{(fig. 19)}$$

Remarque. — Pour placer les lignes neutres par rapport aux génératrices, il faut tracer une circonférence, la diviser en 20 parties égales, puis la diviser en 6 en partant d'une division précédente ; on voit ainsi entre quelles génératrices tombent les lignes neutres. On peut aussi le faire par le calcul.

Il y a 20 génératrices, 20 intervalles entre elles. Comme il y a 6 pôles, entre 2 pôles consécutifs, on trouve $\frac{20}{6} = 3\frac{1}{3}$ intervalles. La 1re ligne neutre étant légèrement à droite de 1, la 2me sera après 3 intervalles $\frac{1}{3} + \varepsilon$, la 3me après 6 intervalles $2/3 + \varepsilon$, la 4me après 10 intervalles $+ \varepsilon$.

Les balais se placent sous les maxima et les minima obtenus en suivant l'enroulement et en comptant $+ 1$ pour les génératrices rencontrées dans le sens de la flèche et $- 1$ pour celles rencontrées en sens inverse.

2me *Exemple numérique :*

$$2p_1 = 2 \qquad 2p = 4 \qquad y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2}{4}$$

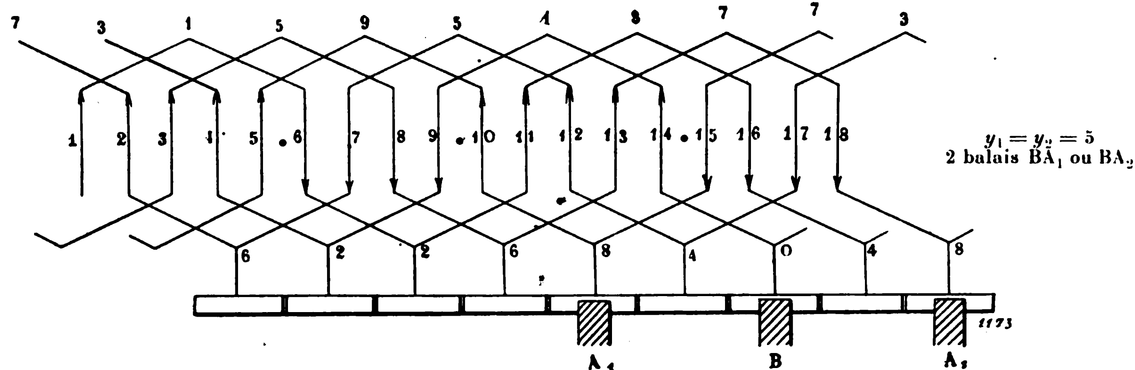


Fig. 20

On a $p = 2p_1 =$ multiple pair de p_1. $\frac{N}{2p_1}$ devra donc être impair. N sera multiple impair de 2.

$$\alpha)\ N = 2, 6, 10, 14, 18 \ldots\ldots \text{etc.}$$

D'autre part :

$$N \pm 2 = \text{multiple impair de } 4$$

ou :

$$N = \text{multiple impair de } 4 \mp 2 = \text{multiple impair de } 2$$

On pourra donc prendre pour N une quelconque des valeurs α).

Prenons $N = 18$ (correspondant à $N + 2 =$ mult. de 4).

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2}{4} = \frac{18 + 2}{4} = 5 \quad \text{(fig. 20)}$$

***

3me *Exemple numérique :*

$$2\,p_1 = 2 \qquad 2\,p = 8$$

Comme p = multiple pair de $2\,p_1$, $\frac{N}{2p_1} = \frac{N}{2}$ doit être impair et N = multiple impair de 2.

$$N = 2, 6, 10, 14, 18\ldots\ldots \text{ etc.}$$

de

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2\,p_1}{2\,p} = \frac{N \pm 2}{8}$$

on déduit :

$$N \pm 2 = \text{multiple impair de } 8.$$

D'où :

$$\alpha)\ N = 6, 10, 22, 26, 38, 42, \ldots\ldots$$

Comme N doit être multiple impair de 2, toutes les valeurs α sont acceptables.

Prenons $N = 22$ (correspondant à $N + 2 = 3 \times 8$)

$$y_1 = y_2 = \frac{22 + 2}{8} = 3 \quad \text{(fig. 21)}$$

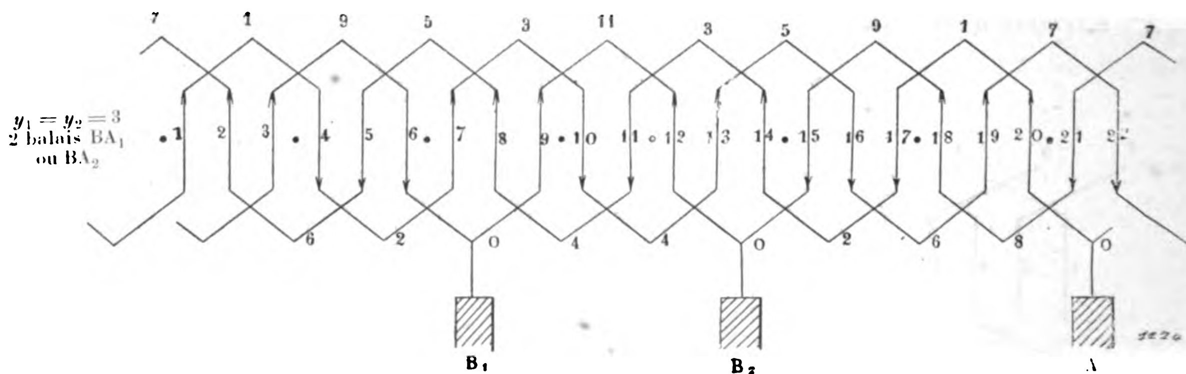


Fig. 21

c) *Enroulement multiple proprement dit ou enroulement mixte ou en séries parallèles.* — Dans cet enroulement $2\,p$ et $2\,p_1$ sont quelconques. Ils doivent cependant satisfaire aux conditions trouvées.

$$p = p_1 K'$$

K' étant pair ou impair. En d'autres termes, le nombre de pôles doit être un multiple de nombre de circuits.

1er *exemple numérique* :

$$2p = 8 \qquad 2p_1 = 4$$

Comme p = multiple pair de p_1, on prendra $\frac{N}{2p_1} = \frac{N}{4}$ impair.

$$N = 4, 12, 20, 28\ldots\ldots\ldots \text{ etc.}$$

De la formule :

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2p_1}{2p} = \frac{N \pm 4}{8}.$$

On déduit que $\frac{N \pm 4}{8}$ doit être impair.

$$N \pm 4 = 4, \quad 12, \quad 20, \quad 28, \ldots\ldots.$$

Toutes ces valeurs étant égales à des multiples impairs de 4, conviennent pour N.
Prenons $N = 20$

$$y_1 = y_2 = \frac{20 + 4}{8} = 3$$

2me *exemple numérique* :

$$2p = 12 \quad 2p_1 = 4$$

$p = 3p_1$. Il faudra donc $\frac{N}{2p_1} = \frac{N}{4}$ pair. N = multiple de 8.

α) $N = 8, \quad 16, \quad 24 \ldots\ldots.$

D'autre part :

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 4}{12}$$

Donc $N \pm 4$ = multiple impair de 12.

$$N \pm 4 = 12, \quad 36, \quad 60, \ldots\ldots$$

β) $N = 8, \quad 16, \quad 32, \quad 40, \ldots\ldots.$

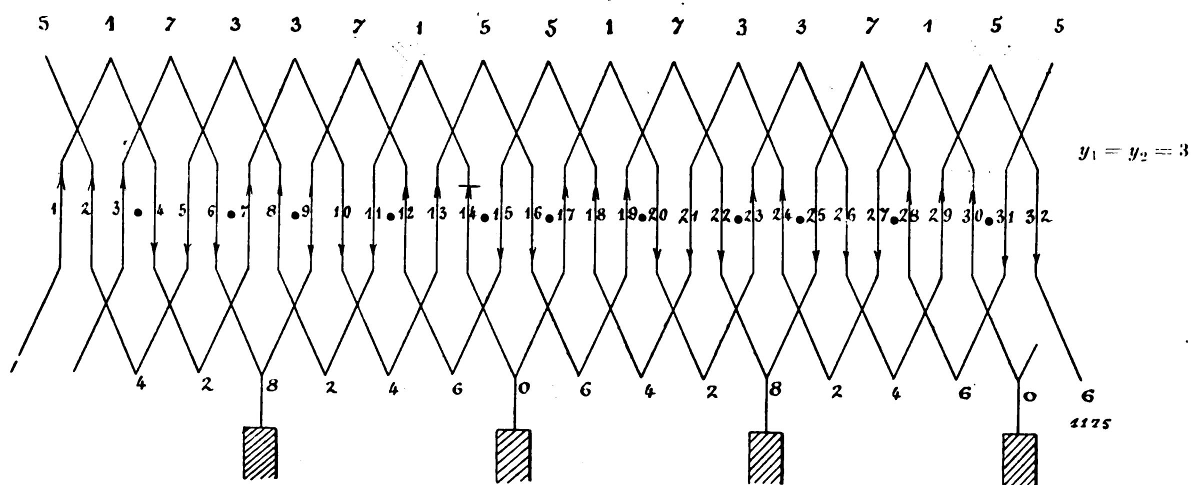


Fig. 22

α) et β) donnent pour N les mêmes valeurs. Toutes ces valeurs conviennent.
Prenons $N = 32$

$$y_1 = y_2 = \frac{32 + 4}{12} = 3 \quad \text{(fig. 22)}$$

B. — Enroulement ondulé à deux couches

L'enroulement généralement usité est celui dans lequel les jonctions sont faites d'après la 2me méthode (cadres identiques). Nous allons donner deux exemples numériques de cet enroulement.

1er *exemple numérique* :

$$2p_1 = 2p = 4$$

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 4}{4} = \frac{N}{4} \pm 1$$

Les valeurs possibles pour N sont donc :

$$8,\ 16,\ 24,\ 32 \ldots\ldots \text{ etc.}$$

Prenons donc $N = 32$

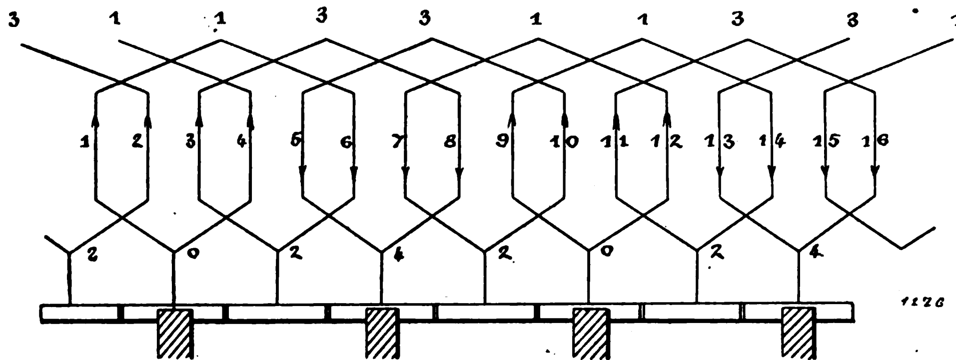
$$y_1 = y_2 = 9 \text{ ou } 7$$

Comme $p = p_1$ on aura N génératrices utiles par circuit.

2me *exemple numérique :*

$$2p_1 = 2 \qquad 2p = 6$$

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2}{6}$$



$y_1 = 5$
$y_2 = 3$

Fig. 23

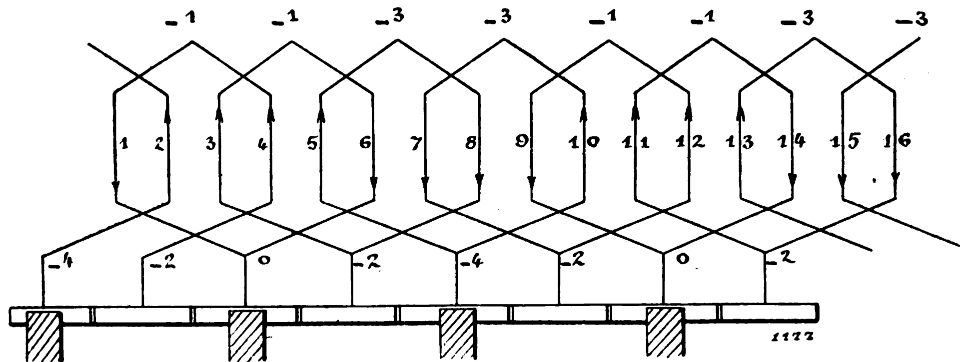
p étant égal à un multiple impair de p_1, $\frac{N}{2p1} = \frac{N}{2}$ doit être pair.

$$N = 4,\ 8.\ 12 \ldots\ldots \text{ etc.}$$

De plus $N \pm 2$ doit être multiple impair de 6

$$N \pm 2 = 6,\ 18,\ 30,\ 42, \ldots\ldots$$

$$(\alpha) \qquad N = 4,\ 8,\ 16,\ 20,\ 28,\ 32 \ldots\ldots$$



$y_1 = 3$
$y_2 = 5$

Fig. 24

Les seules valeurs acceptables sont donc les valeurs (α).
Supposons $N = 32$. Alors

$$y_1 = 5$$

Comme $p = 3p_1$, on aura $\frac{N}{2p_1} - 2$ ou 14 génératrices utiles par circuit.

C. — Enroulement imbriqué

Exemple numérique :

$$2p_1 = 2p = 4$$

$$y_1 - y_2 = \pm 2 \qquad y_1 = \frac{N}{2p_1} \pm 1$$

$\frac{N}{2p_1}$ doit être pair (ainsi qu'on l'a démontré).

Donc :

$$N = \text{mult. pair de } 4$$

ou :

$$N = 8, 16, 24, \ldots\ldots$$

Prenons $N = 16$

$$y_1 = 5 \text{ ou } 3$$
$$y_2 = 3 \text{ ou } 5 \qquad \text{(fig. 23 et 24)}$$

D. — Enroulement en anneau

a) *Enroulement multiple simple :*

$$2p_1 = 2p$$

$$y_1 = \frac{N \pm p_1}{p} = \frac{N}{p} \pm 1$$

Comme N = multiple de $2p_1$ ou de $2p$, $\frac{N}{p}$ est pair et y_1 est impair.

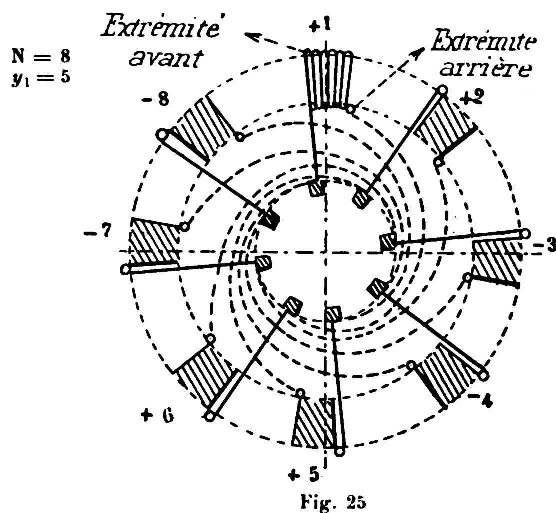


Fig. 25

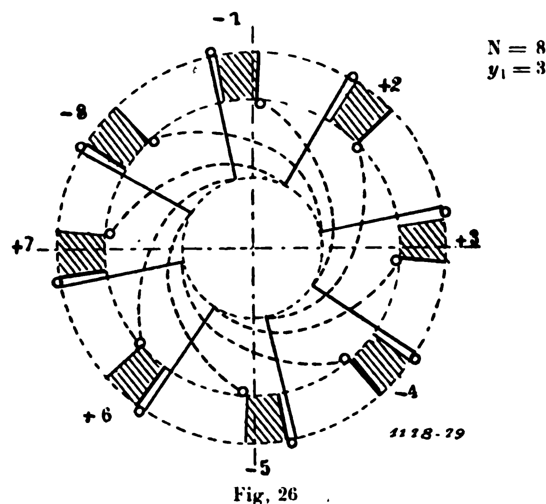


Fig. 26

1er *exemple numérique :*

$$2p_1 = 2p = 4$$

$$y_1 = \frac{N \pm 2}{2} = \frac{N}{2} \pm 1$$

Prenons $N = 8$. Alors :

$$y_1 = 4 \pm 1 = 5 \text{ ou } 3 \qquad \text{(fig. 25 et 26)}$$

2me *Exemple numérique :*

$$N = 12 \qquad y_1 = \frac{12}{2} \pm 1 = 7 \text{ ou } 5 \qquad \text{(fig. 27 et 28)}$$

b) *Enroulement série simple :*

$$2p_1 = 2$$

$$y_1 = \frac{N \pm p_1}{p} = \frac{N \pm 1}{p}$$

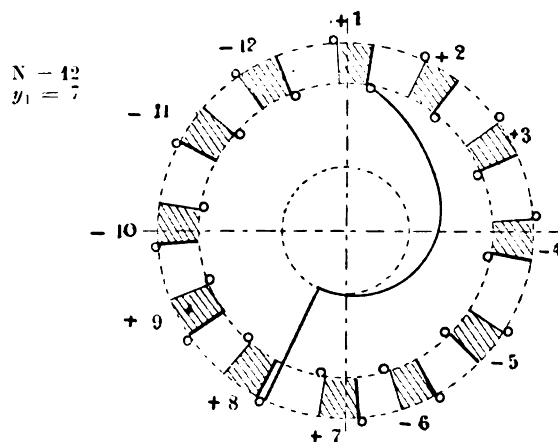


Fig. 27

+ 1 à + 8 + 8 à + 3 + 3 à — 10 | + 7 à + 2 + 2 à + 9 + 9 à — 4
— 10 à — 5 — 5 à — 12 — 12 à + 7 | — 4 à — 11 — 11 à — 6 — 6 à + 1

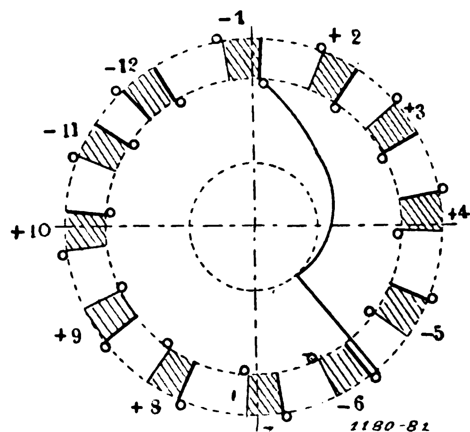


Fig. 28

— 1 à — 6 — 6 à — 11 — 11 à + 4 | — 7 à — 12 — 12 à — 5 — 5 à + 10
+ 4 à + 9 + 9 à + 2 + 2 à — 7 | + 10 à + 3 + 3 à + 8 + 8 à — 1

p doit être égal à p_1K (K impair). Comme $p_1 = 1$, p doit donc être impair.

Exemple numérique :

$$2p_1 = 2 \qquad 2p = 6$$

$$y_1 = \frac{N \pm 1}{3}$$

On doit avoir :

$N \pm 1$ = multiple impair de 3 ; d'où :

$N \pm 1 = 3, 9, 15, 21 \ldots\ldots$

$N = 2, 4, 8, 10, 14, 16 \ldots\ldots$

Prenons N = 10 correspondant à N — 1 = multiple de 3. Alors :

$$y_1 = \frac{10 - 1}{3} = 3 \quad \text{(fig. 29)}$$

c) *Enroulement séries parallèles ou multiple mixte.*

$$y_1 = \frac{N \pm p_1}{p} \qquad p = p_1 K \quad \text{(K impair)}$$

Exemple numérique :

$$2p_1 = 4 \qquad 2p = 12$$

$$y_1 = \frac{N \pm 2}{6}$$

N ± 2 doit être multiple impair de 6.

$N \pm 2 = 6, 18, 30, 42 \ldots\ldots$

$N = 4, 8, 16, 20, 28, 32 \ldots\ldots$

Prenons N = 16, correspondant à N + 2 = multiple de 6. Alors :

$$y_1 = \frac{16 + 2}{6} = 3$$

Sans qu'il soit nécessaire de faire l'épure, on voit que les circuits seront composés de quatre sections chacun :

1er. — 1, 4, 7, 10
2e. — 13, 16, 3, 6
3e. — 9, 12, 15, 2
4e. — 5, 8, 11, 14

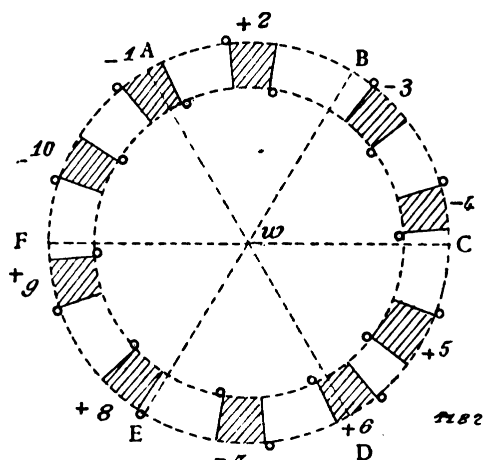


Fig. 29

Signe —, spire moyenne à gauche, 5 sections par circuit.	—1 à —4 — et à —7 —7 à —10 —10 à —3 —3 à +6 +6 à +9 +9 à +2 +2 à +5 +5 à +8 +8 à —1

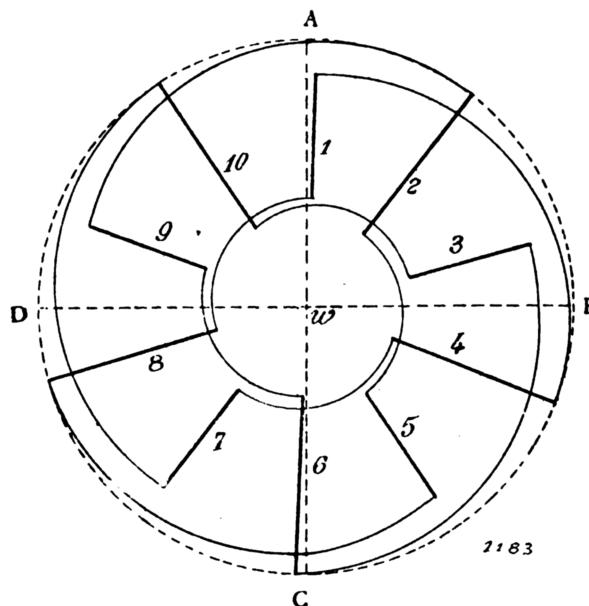


Fig. 30

Remarque. — Dans l'enroulement en anneau, une section est réunie à la suivante par l'intermédiaire d'une lame du collecteur.

Sans qu'il soit nécessaire de tracer ce collecteur, on voit facilement en quels points doivent se placer les balais.

Ils se trouvent sur la lame qui sert d'intermédiaire pour la jonction d'un circuit au suivant. En ces points, en effet, on a les maxima ou les minima de f. e. m. Dans l'exemple précédent, on aura 4 balais aux lames correspondantes aux jonctions 10, 13 — 6, 9 — 2.5 — 14.1 —

E. — Enroulement en disque

Exemple numérique :

$$2p = 8 \qquad 2p_1 = 2$$

$$y_1 = y_2 = \frac{N \pm 2}{4}$$

Donc :

N ± 2 = multiple impair de 4.
N ± 2 = 4, 12, 20, 28,.....
N = 2, 6, 10, 14,.....

Prenons N = 10 (correspondant à N + 2 = multiple impair de 4).

$$y_1 = y_2 = \frac{10 + 2}{4} = 3$$

Les autres exemples se traitent de la même manière.

Justin Marqueyrol
Ingénieur des Arts et Manufactures.

(*Fin*)

SUR LA THÉORIE DU MOTEUR SÉRIE COMPENSÉ MONOPHASÉ

Je viens de lire dans *l'Éclairage Électrique* du 24 septembre dernier l'intéressant article de M. Reyval sur les progrès récents réalisés dans le moteur série ordinaire à courant alternatif simple.

Page 486, M. Reyval rappelle la description que j'ai donnée d'un moteur série ordinaire avec enroulement inducteur distribué dans des encoches, à une époque où l'on préconisait encore les pôles saillants avec dispositifs accessoires.

Depuis que la General Electric Company a effectivement mis en service une ligne avec des moteurs série dont l'enroulement inducteur est distribué dans des encoches, je considère que l'exactitude de ma façon de voir a été vérifiée par l'expérience.

J'ajoute d'ailleurs ici qu'un enroulement compensateur spécial est inutile si on a recours au décalage des balais.

Considérons un moteur série dont le stator est bobiné comme un induit de dynamo à courant continu (fig. 1). Faisons d'abord fonctionner ce moteur avec du courant continu.

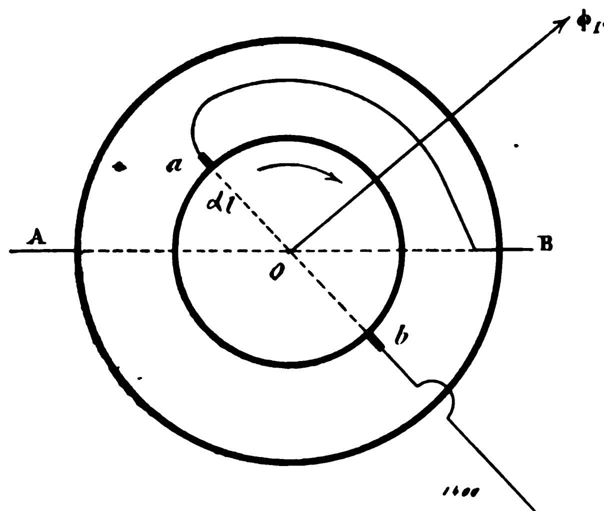


Fig. 1

Pour obtenir la meilleure commutation possible, nous serons conduits à caler les balais de telle façon que la ligne des balais ab soit perpendiculaire sur la direction du flux résultant *dans le rotor*.

Cette position étant bien réglée, on alimentera le moteur avec du courant alternatif simple. Pour changer le sens de rotation sans toucher aux balais, il suffit de déplacer les bornes AB sur la périphérie du stator d'un angle 2α (voir fig. 2).

Un tel moteur a évidemment un facteur de puissance d'autant plus élevé que l'entrefer est plus petit et que l'on travaille à de plus basses inductions. Dans tous les cas, à entrefer égal, les autres formes de construction donneront un facteur de puissance inférieur.

Je maintiens que, pour un diamètre d'alésage et un nombre de tours déterminé,

c'est-à-dire pour *une vitesse périphérique déterminée*, le facteur de puissance est *sensiblement* indépendant du nombre de pôles. *L'avantage d'un plus grand nombre de pôles est uniquement de rendre le moteur moins encombrant en réduisant l'espace exigé par les connexions latérales et un peu l'épaisseur des circuits magnétiques.* Un autre avantage d'un nombre de pôles plus élevé consiste dans ce fait que, si l'on admet, dans tous les cas,

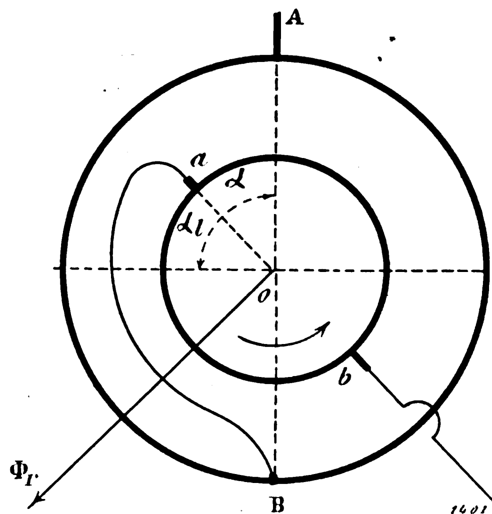


Fig. 2

une spire par section, le moteur se trouve être construit pour une plus basse tension. Il en résulte une meilleure commutation; mais on ne doit pas oublier que cette meilleure commutation est accompagnée d'une plus grande surface frottante sur le collecteur.

Conclusion. — Le moteur série doit avoir un enroulement inducteur distribué dans des encoches. En dehors de l'observation de cette remarque et peut-être de l'emploi de connexions résistantes, les constructeurs n'ont aucun dispositif spécial actuellement connu à appliquer.

Mon moteur série compensé sans déphasage est naturellement hors de discussion.

M. LATOUR.

SUR L'ATTRACTION DISSYMÉTRIQUE DU ROTOR DANS LES MOTEURS ASYNCHRONES

Dans la note publiée au numéro du 20 février 1904, il s'est glissé une erreur de calcul (1) provenant d'un lapsus d'écriture. Je crois donc utile de reprendre la formule trouvée en lui faisant subir la correction nécessaire.

(1) Cette erreur m'a été signalée à la fois par M. Georges Guy, ingénieur-électricien, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, et M. Fritz Edme, ingénieur à Berlin, que je remercie à cette occasion.

****

Le calcul de l'intégrale

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \alpha d\alpha}{(e_0 - a \cos \alpha)^2}$$

en substituant à α la variable auxiliaire $z = \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$ donne

$$\int_0^1 \frac{2(1 - z^2)dz}{[e_0 - a + (e_0 + a)z^2]^2}$$

au lieu de

$$\int_0^1 \frac{2(1 - z)dz}{[e_0 - a + (e_0 + a)z^2]^2}$$

En substituant comme précédemment

$$\overline{M}^2 = \frac{e_0 - a}{e_0 + a},$$

l'intégrale indéfinie a pour valeur

$$\frac{1}{(e_0 + a)^2}\left[\frac{1 - \overline{M}^2}{\overline{M}^3} \operatorname{arctg} \frac{z}{\overline{M}} + \frac{(1 + M^2)z}{\overline{M}^2(\overline{M}^2 + z^2)}\right]$$

et en appliquant à z les limites 0 et 1 on trouve :

$$\frac{1}{(e_0 + a)^2}\left[\frac{1 - \overline{M}^2}{M^3} \operatorname{arctg} \frac{1}{\overline{M}} + \frac{1}{\overline{M}^2}\right];$$

en substituant la valeur de M, on obtient finalement

$$\frac{1}{e_0^2 - a^2}\left[\frac{2a}{\sqrt{e_0^2 - a^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{e_0 + a}{e_0 - a}} + 1\right].$$

d'où

$$f = \frac{1}{4\pi}(B^{\bullet}_{eff})^2 e_0^2 rl \frac{1}{e_0^2 - a^2}\left[\frac{2a}{\sqrt{e_0^2 - a^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{e_0 + a}{e_0 - a}} + 1\right].$$

Dans le demi-cercle YX'Y', la valeur de l'intégrale

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \alpha d\alpha}{(e_0 + a \cos \alpha)^2}$$

exprimée en fonction de z est

$$\int_0^1 \frac{2(1 - z^2)dz}{[e_0 + a + (e_0 - a)z^2]^2} = \frac{1}{(e_0 - a)^2} \int_0^1 \frac{2(1 - z^2)dz}{(\overline{M}'^2 + z^2)^2}$$

qui donne par l'intégration précédente et en appliquant les limites :

$$\frac{1}{e_0^2 - a^2}\left[\frac{-2a}{\sqrt{e_0^2 - a^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{e_0 - a}{e_0 + a}} + 1\right]$$

d'où

$$F = f - f' = \frac{1}{4\pi} B^{\bullet 2}_{eff} e_0^2 rl \frac{1}{e_0^2 - a^2} \frac{2a}{\sqrt{e_0^2 - a^2}}\left[\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{e_0 + a}{e_0 - a}} + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{e_0 - a}{e_0 + a}}\right]$$

Mais comme

$$\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{e_0 - a}{e_0 - a}} + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{e_0 - a}{e_0 + a}} = \frac{\pi}{2}$$

on a :

$$f(\varepsilon) = \frac{e_0^2}{e_0^2 - a^2} \frac{2a}{\sqrt{e_0^2 - a^2}} \frac{\pi}{2}$$

et posant toujours :

$$\frac{a}{e_0} = \varepsilon$$

d'où :

$$f(\varepsilon) = \frac{\pi\varepsilon}{(1 - \varepsilon^2)^{\frac{3}{2}}}$$

d'où :

$$F = A f(\varepsilon) \qquad A = \frac{1}{4\pi} B^2_{eff} 2rl$$

Les valeurs de la fonction $f(\varepsilon)$ varient avec ε de la manière suivante :

ε	$f(\varepsilon)$	ε	$f(\varepsilon)$
0,0	0	0,25	0,866
0,05	0,157	0,30	1,084
0,10	0,319	0,40	1,630
0,15	0,488	0,50	2,415
0,20	0,668	0,60	3,680

Elles sont reportées sur la courbe de la fig. 2.

On voit que la formule corrigée donne des valeurs de F notablement plus élevées que celles que j'avais calculées précédemment.

Le calcul précédent peut, d'ailleurs, se simplifier en faisant l'intégration pour le cercle entier. Les limites de α sont 0 et π au lieu de 0 et $\frac{\pi}{2}$. Les limites de z deviennent 0 et ∞.

L'intégrale indéfinie

$$\frac{1}{(e_0 + a)^2} \left[\frac{1 - M^2}{M^3} \operatorname{arctg} \frac{z}{M} + \frac{(1 + M^2) z}{M^2 (M^2 + z^2)} \right]$$

prend donc pour valeur définie entre ces limites

$$\frac{\pi}{2} \frac{1}{(e_0 + a)^2} \times \frac{1 - M^2}{M^3} ;$$

en substituant à M^2 sa valeur $\frac{e_0 - a}{e_0 + a}$ on trouve pour l'intégrale $\frac{\pi a}{(e_0^2 - a^2)^{\frac{3}{2}}}$.

et en substituant $\varepsilon = \frac{a}{e_0}$, on retrouve la formule :

$$f(\varepsilon) = e_0^2 \frac{\pi a}{(e_0^2 - a^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\pi\varepsilon}{(1 - \varepsilon^2)^{\frac{3}{2}}}$$

APPLICATION DE LA NOUVELLE FORMULE

Je reprends donc les deux exemples de ma première note.

Pour le moteur à deux pôles j'ai trouvé $A = 1937$ kg., valeur qui ne change pas.

Pour $\varepsilon = 0{,}05$, $f(\varepsilon) = 0{,}157$

l'attraction est donc F = 1737 × 0,157 = *304 kg.*

au lieu de 250 kg.

Avec $\varepsilon = 0,10$ F = 609 kg.
Avec $\varepsilon = 0,50$ F = 4680 kg.

Pour le moteur à 4 pôles : A = 471 kg.

Avec $\varepsilon = 0,10$ F = 150 kg.
Avec $\varepsilon = 0,20$ F = 313 kg.

La rectification que je viens de faire, qui montre que les valeurs de l'attraction dissymétrique sont encore plus élevées que celles que j'avais tout d'abord calculées, confirme la conclusion pratique de l'importance qu'il faut attribuer à ce phénomène et de la nécessité de s'en préoccuper dans le calcul des moteurs asynchrones.

JEAN REY.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

La turbine à gaz. — Son rendement, par **Alfred Barbezat**, ingénieur. — (Schweizerische Bauzeitung).

Jusqu'à ces dernières années on ne connaissait que deux genres de moteurs thermiques industriels: l'un plus ancien, plus simple et moins économique, la *machine à vapeur*, l'autre plus nouveau, plus délicat et plus économique, le *moteur à gaz*. Les récents succès de la *turbine à vapeur* ont conduit à la recherche de son moteur correspondant, la *turbine à gaz*.

Deux ingénieurs français, MM. René Armengaud et Charles Lemâle de Paris, ont, en particulier, construit et expérimenté une turbine à combustion de leur système, fonctionnant au pétrole, depuis un an et demi dans les ateliers de la Société des Turbo-moteurs à Saint-Denis.

Au cours de la discussion des résultats obtenus avec leur première turbine et en élaborant avec eux le projet d'une seconde machine, nous avons pu nous rendre compte quantitativement de l'avenir d'une telle turbine. Je crois intéresser quelques collègues en leur faisant part très brièvement des résultats.

1. L'invention de ces deux Messieurs a pour but de réunir les avantages énormes du moteur à gaz: suppression de la chaudière et amélioration du rendement économique, avec les qualités propres à la turbine à vapeur: encombrement réduit, légèreté, simplicité résultant d'un seul mouvement uniforme et très grande facilité de mise en marche et de régulation.

Leur turbine comprend en principe une chambre de combustion (fig. 1) alimentée: 1° en A par un

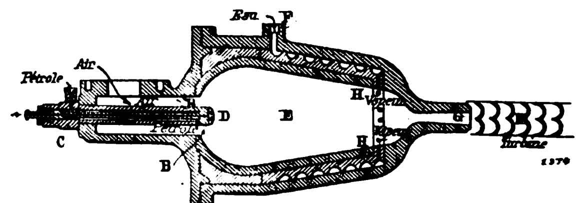


Fig. 1

courant continu d'air, comprimé par un ventilateur à haute pression calé sur l'arbre de la turbine: 2° en B par un jet continu de pétrole sous pression qui se mélange intimement à l'air et qu'on enflamme au moyen d'une bougie électrique D et qui, en brûlant, développe en E, une température d'environ 1800° C; 3° en H par un jet continu de vapeur d'eau à débit réglable, qui permet d'obtenir un mélange gazeux à n'importe quelle température inférieure à 1800° C, et capable après détente dans la tuyère G, d'actionner une roue K à aubes convenablement refroidies.

La fig. 2 représente le diagramme d'une telle turbine à combustion. L'énergie nécessaire au

ventilateur annexe pour comprimer 1 kg d'air de l'état A à l'état B est représentée théoriquement par la surface OABC et effectivement par la surface OA_1B_1C. En réchauffant de 1800° C et à pression constante cette masse d'air par l'introduction de pétrole dans la chambre de combustion de la fig. 1, son volume augmente de CB à CD (fig. 2).

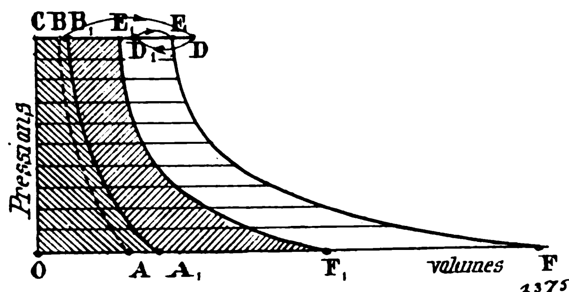


Fig. 2

L'introduction de la vapeur d'eau a pour effet d'une part, d'abaisser la température, donc de diminuer le volume du kilogramme d'air considéré de CD à CD_1, d'autre part d'augmenter par sa masse le volume du kilogramme qui de CD_1 devient CE.

L'énergie théoriquement disponible à la sortie de la chambre est donnée par OFEC. En tenant compte du rendement de la turbine et du travail absorbé par le compresseur, il reste la surface $A_1F_1E_1B_1$ comme énergie effectivement disponible.

Nous allons examiner de plus près le cycle de la figure 2 et à cet effet nous rappellerons d'abord les lois principales de la combustion.

2. En faisant brûler du pétrole dans l'air, le carbone C et l'hydrogène H qu'il contient, se transforment en acide carbonique CO_2 et en vapeur d'eau H_2O. Ces réactions sont accompagnées d'un dégagement de chaleur connu et qui nous permet de calculer le pouvoir calorifique moyen du pétrole ordinaire employé et contenant par kilogramme

851 gr. de C,
142 » » H,
7 » » O.

On sait que 1 kg de carbone en brûlant complètement à l'état de CO_2 dégage 8100 cal. et que 1 kg d'hydrogène libre en brûlant complètement à l'état de H_2O dégage 29000 cal. Comme d'autre part, 2 gr de H se combinent à 16 gr de O pour donner 18 gr de H_2O et que 12 gr de C se combinent à 32 gr de O pour donner 44 gr de CO_2, le kg de pétrole contiendra :

$$142 - \frac{7}{8} = 141,1 \text{ gr}$$

d'hydrogène libre et son pouvoir calorifique sera :

$$P = 0,851 \times 8100 + 0,1411 \times 29000 = 11000 \text{ cal. environ}$$

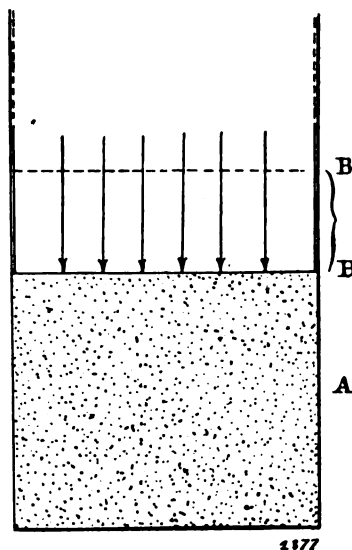


Fig. 3

La quantité de O nécessaire à la combustion complète de 1 kg de pétrole sera :

$$0,851 \times \frac{32}{12} + 0,142 \times \frac{16}{2} - 0,007 = 3,4 \text{ kg.}$$

L'air renfermant en poids environ 23 % de O et 77 % d'Az, il faudra par kg de pétrole $\frac{3,4}{0,23} = 15$ kg d'air avec 20 % d'air en excès, 18 kg d'air.

Dans nos essais, l'excès d'air était toujours inférieur à ce chiffre que nous maintenons cependant par raison de sécurité et pour tenir compte du travail de compression, en réalité très petit, du pétrole et de l'eau d'injection, que nous négligerons dans la suite.

Le résultat de la combustion de 1 kg de pétrole dans 18 kg d'air sera :

$$15 \times 0,77 = 11,59 = 61 \text{ \% Az}$$
$$0,851 \times \frac{44}{12} = 3,13 = 16,5 \text{ \% } CO_2$$
$$0,142 \times \frac{9}{1} = 1,28 = 6,7 \text{ \% } H_2O$$
$$\text{Excès} = 3,00 = 15,8 \text{ \% Air}$$
$$\text{Total} \quad 19 \text{ kg} \quad 100 \text{ \%}$$

On peut en déduire la chaleur spécifique des gaz brûlés et leur température de combustion.

3. Nous admettrons que les chaleurs spécifiques à pression constante C_p sont variables avec la température et pour les gaz qui nous intéressent données par les relations :

$C_p\,(Az) = 0{,}230 + 0{,}0000368\,T$ pour 1 kg d'air ou d'Az.
$C_p\,(CO_2) = 0{,}199 + 0{,}0000860\,T$ » » » CO_2.
$C_p\,(H_2O) = 0{,}492 + 0{,}0000130\,T$ » » » H_2O.

Les gaz résultant de la combustion et formés par 6,7 °/₀ de H_2O, 16,5 °/₀ de CO_2 et 76,8 °/₀ d'Az et d'air auront pour chaleur spécifique :

$$C_p = 0{,}768\,C_p\,(Az) + 0{,}165\,C_p\,(CO_2) + 0{,}067\,C_p\,(H_2O) = 0{,}245 + 0{,}000051\,T.$$

Le nombre des calories Q, contenues à t degrés dans 1 kg de gaz brûlés étant égal à $\int_0^t C_p\,dt$, est représenté par la courbe

$$Q = 0{,}245\,T^2 + 0{,}000051\,\frac{T^2}{2}$$ en O A de la fig. 4.

La température de combustion détermine le point terminus de la courbe O A. Elle s'obtiendra en considérant que 1 kg de gaz brûlés contient avant la combustion :

$$\frac{1}{19} = 5{,}36\ {}^0/_0$$ ou 53,6 gr. de pétrole équivalents à :
$$0{,}0536 \times 11000 = 589{,}6$$ calories.

Cette chaleur pourra réchauffer le kg de gaz jusqu'à t degrés, t étant déterminé par la relation $Q_t = 589{,}6$.

Donc le point d'intersection A d'une parallèle menée à l'axe des températures à la distance 589,6 calories avec la courbe des Q détermine la température de combustion, dans notre cas 1930° C.

En admettant que les pertes par rayonnement augmentent proportionnellement à la température et atteignent 10 °/₀ à 2000° C, la température de combustion devient 1777° C, c'est-à-dire l'abscisse du point B.

La fig. 4 fait voir comment la position du point B est influencée : par un réchauffage préalable de l'eau d'injection, c'est la droite $O\,O_1$ qui se déplace parallèlement à elle-même vers les calories croissantes, par un réchauffage de l'air de combustion qui relève la droite $A\,A_1$, par une diminution du °/₀ d'air en excès, B se déplace dans le sens B A sur la courbe des Q, etc.

Pour abaisser cette température à un degré voulu, nous mélangeons ces gaz avec une certaine quantité d'eau que nous allons calculer.

4. A cet effet, construisons également en fonction de la température, comme nous venons de le faire pour le kg de gaz résultant de la combustion, la courbe des calories contenues à t^0 dans 1 kg de vapeur d'eau. Les ordonnées seront la somme de la chaleur nécessaire au réchauffement de l'eau q, de la chaleur latente de vaporisation r et de la chaleur nécessaire au réchauffement de la vapeur surchauffée. C'est-à-dire que pour une température quelconque t, la chaleur totale Q, contenue dans 1 kg de vapeur aura pour expression :

$$Q = q + r + \int_{t_s}^{t} C_p\,dt, \text{ où } \int_0^t C_p\,dt = 0{,}529\,t + 0{,}000130\,\frac{t^2}{2};$$

en traçant des courbes parallèles à $\int_0^t C_p\,dt$ par les points de saturation M et N (fig. 4), les ordonnées de celles-ci, comptées à partir de $O\,O_1$, donneront la somme Q. Le terme q est représenté par les ordonnées de la droite O P Q, r par la distance P M ou Q N, et $\int_{t_s}^{t} C_p\,dt$ par les ordonnées des courbes M R ou N S, comptées à partir des parallèles à l'axe des t menées par M ou N. Ces courbes sont différentes suivant la pression à laquelle se produit l'évaporation. Nous avons tracé celles qui correspondent à 1 et à 10 atm., pour faire voir que la différence entre elles est assez petite pour qu'on puisse les confondre en une seule courbe moyenne et profiter des grandes simplifications qui résulteront dans la suite.

Connaissant donc d'une part, les calories contenues dans 1 kg de gaz brûlés à t^0 et d'autre part les calories contenues dans 1 kg de vapeur d'eau à t^0, il sera facile d'établir en °/₀ la composition du mélange devant avoir une température donnée d'avance.

Pour obtenir, par exemple, un mélange à 960° C (fig. 4) :

X représente le nombre de calories perdues par 1 kg de gaz brûlés, en passant de 1777 °C à 960 °C, Y représente le nombre de calories gagnées par 1 kg d'eau en passant de 0 °C à 960° C.

La composition du mélange se déduira des trois relations suivantes où a désigne le nombre de kg d'air, p le nombre de kg de pétrole, e le nombre de kg d'eau, contenus dans 1 kg du mélange.

On aura

$$a + p + e = 1$$
$$a = 18\,p$$
$$(a + p) \cdot X = e \cdot Y$$

d'où

$$e = \frac{X}{X+Y} \qquad p = \frac{1-e}{19} \qquad a = 18p$$

Nous avons ainsi calculé quelle devait être la proportion d'air, d'eau et de pétrole à introduire dans la chambre pour obtenir en amont de la tuyère une température donnée d'avance. Ces résultats sont enregistrés par les courbes JH de la fig. 4. Cette figure montre également ce que deviennent ces quantités a, p et e % introduites

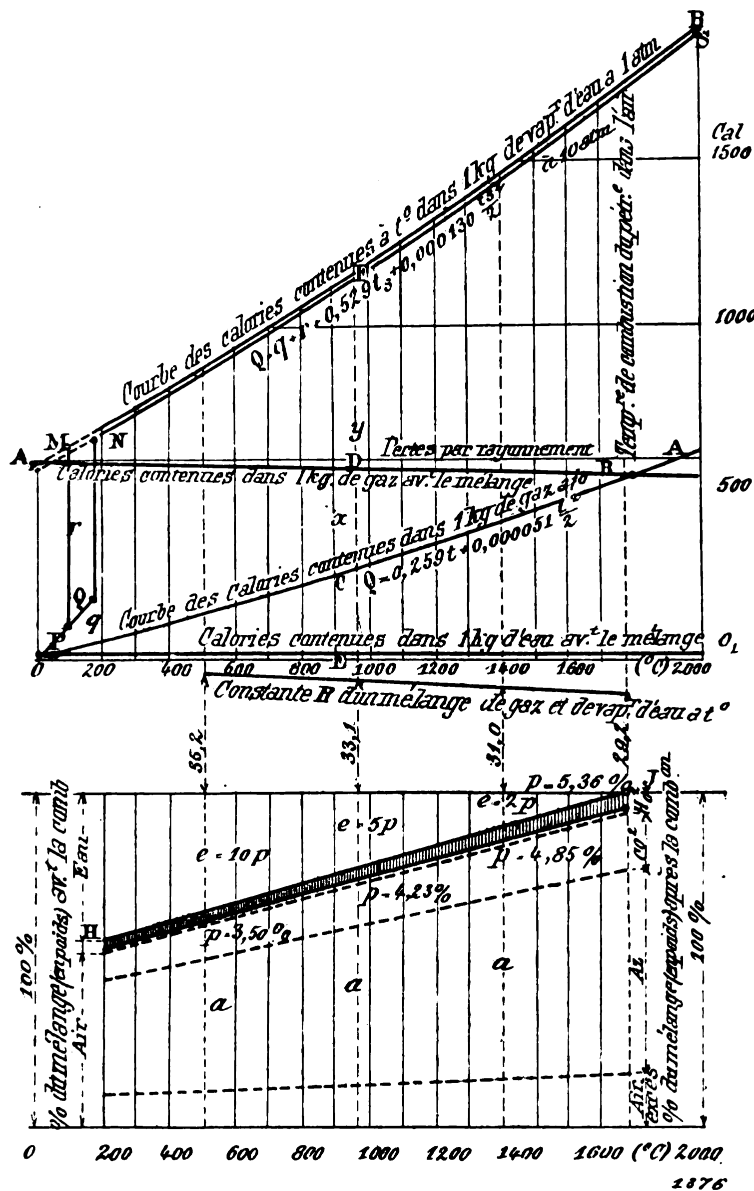


Fig. 4

dans la chambre, après la combustion. La vapeur représente toujours les mêmes % du total au-dessus de HJ. Les % restant au-dessous de HJ et formés avant la combustion par $\frac{1}{19}$ de pétrole et $\frac{18}{19}$ d'air sont remplacés par 6,7 % de H_2O, 16,5 % de CO_2, 61 % d'Az et 15,8 % d'air, comme nous l'avons vu précédemment.

La fig. 4 nous fait ainsi connaître la composition des gaz une fois brûlés et mélangés à la vapeur d'eau pour n'importe quelle température que nous nous donnerons. Elle nous permettra

également de déterminer la chaleur spécifique C_p et la constante R des gaz tels que nous les utiliserons dans la turbine, puisque :

$$R = \%\, Az.30,1 + \%\, H_2O.46,9 + \%\, CO_2.19,2 + \%\, air\, 29,4$$

$$C_p = \%\, Az.C_p(Az) + \%\, H_2O.C_p(H_2O) + \%\, CO_2\, C_p(CO_2) + \%\, air.C_p(air).$$

Par exemple pour une température dans la chambre de :

T	R	C_p
2050	29,2	0,245 + 0,000051 T
1675	31,0	0,266 + 0,000060 T
1233	33,1	0,303 + 0,000068 T
775	35,2	0.333 + 0,000079 T

Ces résultats vont nous permettre d'obtenir par interpolation le rendement économique des turbo-moteurs pour n'importe quelle température à l'échappement et n'importe quelle pression initiale.

5° Dans ce but cherchons d'abord le nombre de calories que peuvent céder nos différents mélanges de gaz en se détendant adiabatiquement, comme c'est le cas dans notre turbine (où la détente s'opère dans un temps très court et où nous négligerons le réchauffement du fluide dû au frottement), d'une pression donnée à la pression atmosphérique.

Connaissant la chaleur spécifique, nous connaîtrons les calories contenues dans 1 kg. de gaz à une température quelconque, elles seront données par l'expression

$Q = \int_o^t C_p\, dt$ et pour un mélange à

T = 2050 données par la courbe $Q = 0,245\,T + 0,0000255\,T^2$
T = 1675 » » » » $Q = 0,266\,T + 0,0000300\,T^2$
T = 1233 » » » » $Q = 0,303\,T + 0,0000342\,T^2$
T = 775 » » » » $Q = 0,333\,T + 0,0000396\,T^2$

Ces courbes sont représentées sur la droite de la fig. en CA, ED, GF et HI.

Donc dès que nous connaîtrons les courbes de détente de nos mélanges gazeux, c'est-à-dire la température t_2 que prend un gaz à T_1 degrés en se détendant d'une pression donnée à la pression atmosphérique, nous aurons par $Q_2 - Q_1$ la chute de chaleur utilisable.

6° Rappelons pour ce qui va suivre les trois équations principales de la thermodynamique des gaz. D'après les lois de Gay-Lussac et de Mariotte, la pression, le volume et la température d'une masse de gaz sont liés entre eux par la relation

$$pv = RT \qquad (1)$$

où R est une constante égale au travail en kg/m. fourni par 1 kg de gaz se détendant sous pression constante quand on le réchauffe de 1 degré centigrade.

Ceci se reconnaît aisément en faisant dans

$$pdv + vdp = RdT$$
$$dT = 1° \text{ et } dp = o, \text{ on obtient } R = p\Delta v_{10}$$

Si A représente l'équivalent calorifique du travail, AR exprimera le nombre de calories correspondant à ce travail.

On appelle chaleur spécifique à pression constante C_p, les calories nécessaires à 1 kg de gaz contenu dans un cylindre A pour augmenter sa température de 1° centigrade, quand on laisse le piston B se déplacer librement sous pression extérieure constante.

La chaleur spécifique à volume constant C_v est celle qu'exige 1 kg de gaz pour une augmentation de température de 1° centigrade, le piston B étant maintenu fixe.

On voit immédiatement qu'on peut décomposer la chaleur C_p en deux parties, l'une C_v ayant seulement servi à élever la température, l'autre AR représentant l'équivalent du travail fourni par le piston B, de sorte que par définition

$$C_p = AR + C_v \qquad (II)$$

Pour une augmentation de température quelconque dt on aura :

$$C_p\, dt = AR\, dt + C_v\, dt$$

Or $C_p\, dt$ représente la chaleur totale fournie dQ
$C_v\, dt$ » » » qui a uniquement servi à augmenter l'énergie interne du gaz ou sa température.

$AR\, dt = Apdv + o$ représente la chaleur transformée en travail, celle qui a servi à la production de l'énergie externe du gaz de sorte que cette équation peut aussi se mettre sous la forme

$$dQ = C_v dt + Apdv \qquad (III)$$

Au moyen des trois équations que nous venons d'établir nous allons calculer les courbes de détente des différents mélanges envisagés.

7° Nous savons que pour la détente adiabatique $dQ = o$ donc $C_v R dt + ARpdv = o$;
or

$$AR = C_p - C_v$$

d'où

$$C_v R dt + (C_p - C_v)\, p dv = 0$$
$$C_v (R dt - p dv) + C_p p dv = 0,$$
$$pv = RT \text{ donne } p dv + v dp = R dt$$

d'où

$$C_v\, v dp + C_p\, p dv = 0.$$

En remplaçant C_v et C_p par leurs valeurs en fonction de T :

$$(a + bT)\, v dp + (a\gamma + bT)\, p dv = 0$$
$$a(v dp + \gamma p dv) + bT\,(v dp + p dv) = 0$$

en divisant par pv et éliminant T :

$$a \frac{v dp + \gamma p dv}{pv} + b \frac{pv}{R} \frac{v dp + p dv}{pv} = 0$$

en intégrant :

$$a L p v^\gamma + \frac{b}{R} pv = \text{const}$$

$$a L p v^\gamma + bT = \text{const}$$

et finalement :

$$p v^\gamma e^{\frac{b}{a}T} = \text{const.}$$

En éliminant p :

$$\frac{RT}{v} v^\gamma e^{\frac{b}{a}T} = \text{const.}$$

ou bien

$$T v^{\gamma - 1} e^{\frac{b}{a}T} = \text{const.}$$

d'où

$$T = T_0 \left(\frac{v_0}{v}\right)^{\gamma - 1} e^{\frac{b}{a}(T_0 - T)}$$

En éliminant v :

$$T \left(\frac{T}{p}\right)^{\gamma - 1} e^{\frac{b}{a}T} = \text{const.}$$

$$\frac{T^\gamma}{p^{\gamma - 1}} e^{\frac{b}{a}T} = \text{const.}$$

d'où

$$T = T_0 \left(\frac{p}{p^0}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} e^{\frac{b}{a\gamma}(T_0 - T)}.$$

Pour calculer les expressions $\frac{\gamma - 1}{\gamma}$ et $\frac{b}{a\gamma}$ rappelons que $C_v = C_p - \frac{R}{425}$, $C_p = a\gamma + bT$ et $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ pour $T = 0$.

En complétant le tableau précédent des R et C_p nous pourrons écrire :

T	R	$C_v = C_p - AR$	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	$\frac{\gamma - 1}{\gamma}$	$\frac{b}{a\gamma} 10^3$
2050	29,2	0,180 + 0,000051 T	1,39	0,28	0,205
1675	31,0	0,193 + 0,000060 T	1,37	0,27	0,225
1233	33,1	0,225 + 0,000068 T	1,35	0,26	0,230
775	35,2	0,250 + 0,000079 T	1,33	0,25	0,237

Nous avons pu ainsi construire et représenter sur la fig. 5 les courbes de détente AC DE FG HJ dont l'équation

$$T = T_0 \left(\frac{p}{p^0}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} e^{\frac{b}{a\gamma}(T_0 - T)}$$

donne, au point C par exemple, la température :

$$T = 2050 \frac{1}{50}^{0,28} e^{0,205 \,.\, 1,16}$$

$$= 2050 \frac{1}{2,99} \cdot 1,27 = 880^\circ \text{ absolus.}$$

Ces courbes font connaître les chutes de température et au moyen des courbes de droite les chutes de chaleur en fonction des pressions initiales pour un mélange donné.

Connaissant ces chutes de chaleur en calories Q, la vitesse d'écoulement des gaz, les dimensions des tuyères de détente, ainsi que la grandeur des sections de passage offertes au fluide moteur, se déterminent comme dans les turbines à vapeur (1).

(1) Nous aurions également pu construire ces courbes de détente en nous servant de la fonction $S = \int \frac{dQ}{T}$, — l'entropie ; parce que celle-ci prendra une valeur très simple dans le cas d'une transformation adiabatique pour laquelle dQ est nul et S constant.

Dans le cas des gaz : $dQ = C_v dT + A p dv$

$$S = \int \frac{dQ}{T} = \int (a + bT) \frac{dT}{T} + \int A \frac{p dv}{T} = aL.T + bT + ARL.v + k. \quad \text{I}$$

ou bien en éliminant v :

$$S = (a\gamma - AR) L.T + bT + ARL.\frac{RT}{p} + k'$$
$$= a\gamma L.T + bT - ARL.p + k \quad \text{II}$$

L'expression II permet de construire facilement les courbes d'entropie S en fonction de T pour des pressions p constantes.

Pour $p = 1$ (pression atm.) $\quad S_{atm} = a\gamma L.T + bT + k'$

Il suffira de construire les courbes $S_{atm} = f(T)$ avec les valeurs de $a\gamma$ et b correspondantes par exemple aux quatre mélanges considérés plus haut. En retranchant de ces courbes l'expression ARLp nous trouvons pour chaque pression une courbe S équidistante de S_{atm}. La distance verticale de S à S_{atm} représentera la chute de température $T_1 - T_2$ due à la

8. Revenons au rendement économique du turbo-moteur que nous définirons par le rapport entre la puissance disponible sur l'arbre et la dépense qui lui correspond représentée par le pétrole consommé.

Pour évaluer les différentes grandeurs qui interviennent choisissons, comme unité la calorie. Soient donc par kg de fluide parcourant le cycle de la turbine :

Q_1 — les calories apportées par le pétrole dans la chambre,

Q_2 — l'équivalent calorifique de l'énergie fournie à la turbine sous forme d'air comprimé,

Q_3 — la chaleur rejetée à l'échappement,

Fig. 5

Q_i = l'équivalent calorifique du travail de compression isothermique de l'air,

η_1 = le rendement total de la turbine,

η_2 = le rendement total du compresseur par rapport à l'isotherme.

Le rendement économique ρ prendra la forme suivante :

$$\rho = \frac{(Q_1 + Q_2 - Q_3)\eta_1 - \frac{Q_i}{\eta_2}}{Q_1}$$

Le kg envisagé étant formé par a kg d'air, e kg d'eau, p kg de pétrole nous aurons simplement :

$$Q_1 = 11000\, p,$$

11000 étant la puissance calorifique du pétrole,

$$Q_i = \text{ARTL}\,\frac{p_1}{p_2} \cdot a = 20{,}8\, a\text{L}\,\frac{p_1}{p_2},$$

p_1 et p_2 étant les pressions absolues d'amont et d'aval du compresseur et T étant égal à 300° absolus.

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 = C_p(T_1 - T_2),$$

T_1 et T_2 étant les températures du fluide avant et après la détente et C_p sa chaleur spécifique moyenne entre T_1 et T_2.

En admettant une turbine et un compresseur également bien appropriés pour chaque cas nous pouvons poser :

$$\eta_1 = 0{,}60 = \text{const}, \quad \eta_2 = 0{,}80 = \text{const}.$$

---

dédiabatique. En effet pour $dQ = 0$ S est constant et une parallèle menée à l'axe des T du point d'intersection de S_1 et de T_1 d'amont sur S_{atm} détermine sur cette courbe la température d'aval T_2. En portant en A 00 (fig. 5) les pressions en abscisses et les $T_1 - T_2$ correspondants en ordonnées on retrouve les courbes de détente AC, DE, FG, HI.

La courbe AB de la fig. 5 nous donne les valeurs de $ARTL\frac{p_1}{p_2}$ en fonction de p_1, il suffit de multiplier ses ordonnées par le facteur a pour obtenir Q_1 dans chaque cas.

Pour une température d'amont donnée, a et p sont constants, donc Q_1 sera constant le long des courbes de détente AC, DE, FG, HJ ; le terme Q_1 sera une fraction constante des ordonnées de la courbe AB ; $Q_1 + Q_2 - Q_3$ s'obtiendra par le procédé précédemment décrit à l'aide des courbes représentées à droite sur la fig. 5.

Il est donc très simple d'établir la valeur du rendement économique en chaque point d'une courbe de détente. Ainsi, par exemple, pour le point M de la courbe AC, la distance A_1P donne l'énergie théoriquement disponible à la sortie des tuyères de la turbine. Celle-ci multipliée par le rendement de la turbine représentera l'énergie effectivement disponible. La distance N 15 multipliée par a et divisée par le rendement du compresseur, représente l'énergie absorbée par ce dernier. En retranchant celle-ci de l'énergie disponible sur l'arbre de la turbine et en divisant le tout par les calories introduites sous forme de pétrole, nous aurons le rendement économique de la machine au point M :

$$\rho = \frac{258{,}06 - 0{,}946\,\frac{56{,}5}{0{,}8}}{589} = 18\ \%\ \text{environ}$$

c'est-à-dire le rendement pour une température à l'échappement d'environ 920° C, et une pression initiale de 15 kg.

En reliant entre eux les points de ces courbes de détente qui ont un rendement à cote ronde, nous avons pu tracer les courbes d'égal rendement économique comme elles sont représentées sur la fig. 5.

Les points du plan pT situés au-dessus de la courbe 14 % correspondent à une consommation inférieure à 400 gr. par cheval heure effectif.

La région GTC est donc seule intéressante.

En admettant 0,6 au lieu de 0,8 pour coefficient de rendement du compresseur la courbe correspondant précédemment à 14 % de rendement vient en TUV (fig. 5).

La surface que ces courbes d'égal rendement déterminent dans l'espace confirme le fait reconnu dans nos essais qu'il y a grand intérêt à employer de hautes pressions et de hautes températures.

A. B.

ACCUMULATEURS

Élément galvanique Schœnmehl. — pat. amer. 764-826, novembre 1900, publiée en juillet 1904.

La construction de cet élément a pour but d'éviter la difficulté que l'on rencontre pour éloigner l'oxyde de cuivre épuisé qui devient plus ou moins dur et doit être fréquemment enlevé du récipient. Le couvercle en tôle b du récipient a (fig. 1) supporte une tige s conductrice, tenue par

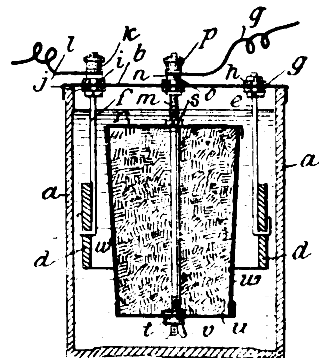


Fig. 1

des écrous m isolés par des rondelles o et portant la borne de prise de courant p. Cette tige sert de support à la corbeille contenant l'électrode positive x. A la partie inférieure de la tige m, est placé un écrou t qui soutient le fond u du récipient perforé en forme de cône w. Ce fond, ainsi que le couvercle, sont recourbés par dessus les parois du récipient ; lorsqu'on veut vider ce dernier, il suffit de desserrer les écrous et de le retourner. L'électrode de zinc est également fixée au couvercle par les tiges e et f. La tige e est en fer et porte les boulons g et les rondelles isolantes h. La tige f est un conducteur en laiton et porte les écrous i, les rondelles isolantes j et la borne k servant de prix de courant.

Élément galvanique Schœnmehl. — pat. amer. 764-827 juillet, 1901, publiée en juillet 1904.

Pour permettre une bonne utilisation du dépolarisant, non seulement on lui donne des épaisseurs différentes, mais encore on le dispose de façon à permettre le libre accès de l'électrolyte sur ses deux faces. Les parois intérieure et extérieure de la corbeille sont toutes deux inclinées, de telle manière que l'oxyde de cuivre utilisé tombe facilement lorsqu'on retourne le récipient. Dans ce but, on introduit dans la corbeille en forme de cône évasé vers le haut, un second cône évasé

vers le bas (fig. 2). L'électrode de zinc est cylindrique et est maintenue par les fils Cc portant

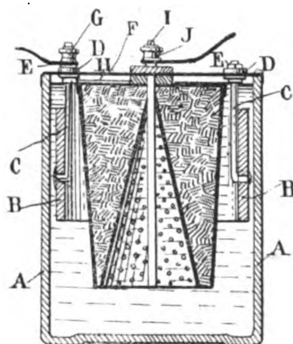


Fig. 2

des rondelles isolantes D, des écrous E et la borne G.

Accumulateur G. Apple. — pat. amer. 759-058 juin 1901, publiée en mai 1904.

Il est avantageux d'éviter toutes les connexions afin d'obtenir une f. e. m. élevée, et de ne pas employer de récipients isolants, pour obtenir une forte capacité pour un petit espace et un faible poids.

Le récipient extérieur, fait en alliage employé

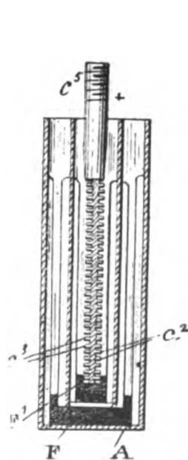


Fig. 3

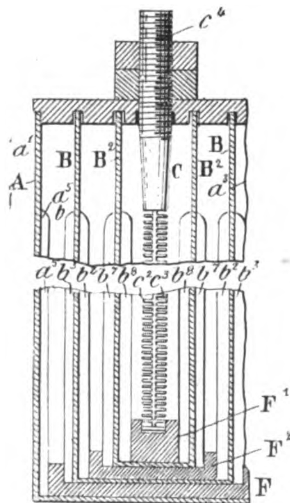


Fig. 4

pour les électrodes, (par exemple du plomb antimonié) est séparé en deux parties A et A¹ par une cloison *a* en même métal (fig. 4). Ces deux parties reçoivent les éléments B et B¹, constitués également par le même alliage et dans lesquels sont placées les électrodes C et C¹. Les éléments B et B¹ peuvent encore (fig. 5) recevoir des éléments B² et B³ dont ils sont isolés.

Les parois extérieures a_1 a_2 portent des côtes a^5 et a^6 en saillie vers l'intérieur qui maintiennent entre elles la matière active. Les parois b et b_1

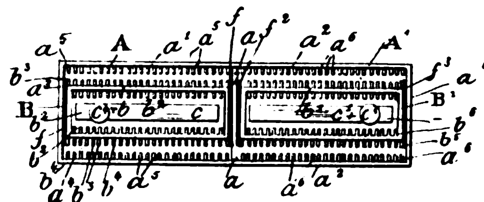


Fig. 5

des éléments B et B¹ portent intérieurement et extérieurement des côtes b_2 et b_3, b_5 et b_6 ; les éléments B² et B³ sont également munis de côtes intérieures et extérieures b_7 et b_8, b_9 et b_{10}.

Perpendiculaires à ces côtés sont disposées des côtes c_2 et c_3 (fig. 3) sur les électrodes centrales C et C qui portent les bornes c_4 et c_5. Au fond des logements A et A′ est placé un isolateur F (fig. 3 et 6) creusé vers le haut pour recevoir les

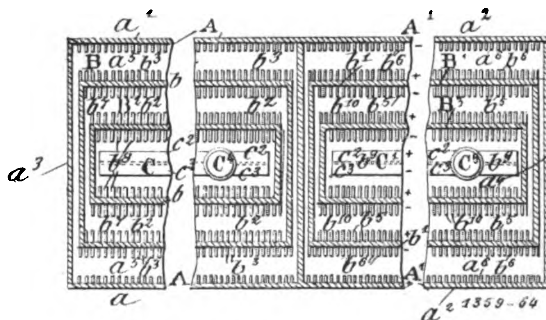


Fig. 6

éléments B et B′ et portant à chaque extrémité des bandes isolantes perpendiculaires *f* et *f*′ qui séparent l'élément intérieur des parois extérieures. L'accumulateur est particulièrement destiné à l'automobile où les connexions soudées ou rapportées se rompent fréquemment : il donne 4 ou 8 volts suivant que l'on emploie l'un ou l'autre des dispositifs décrits.

Dispositif d'élément. — **Obid Duntley.** Pat. am. 764 282, février 1904.

Ce dispositif permet le nettoyage et le lavage de l'élément sans que l'on soit forcé de le sortir de la batterie. L'élément 1 (fig. 8) porte au fond les supports 2 et 3 pour les plaques, et une ouver-

ture 4 (fig. 7) fermée au moyen de deux disques parallèles dont les bords voisins portent une gorge destinée à recevoir une bague de fermeture

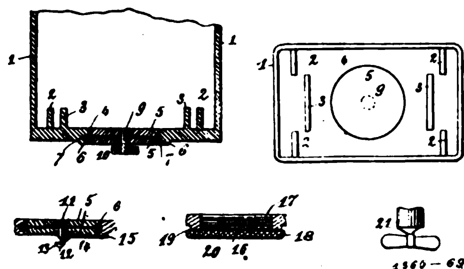


Fig. 7, 8, 9, 10, 11

6 en caoutchouc. Dans les éléments complètement fermés, le couvercle, ainsi que le fond, sont munis du même dispositif.

Améliorations aux accumulateurs. — Electric Boa C° pat'. Angl°°, 27044 — Déc. 1903.

L'invention se rapporte principalement aux batteries destinées aux bateaux sous-marins, et a pour but d'isoler les éléments et la batterie totale,

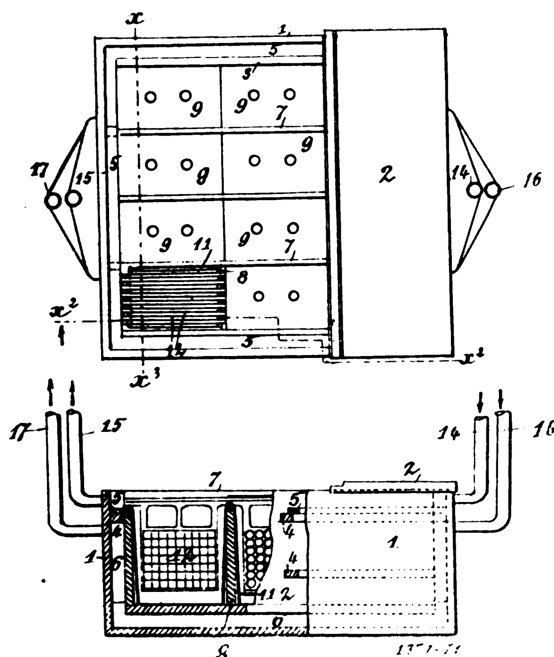


Fig. 12 et 13

d'empêcher les projections d'acide et d'employer pour l'électrode lourde un support tel que l'on puisse utiliser des récipients en matière fragile. La fig. 12 donne une vue en plan, la fig. 13 une coupe suivant une ligne x^2 de la fig. 12, la fig. 14 une coupe suivant la ligne x^3 de la fig. 12, et la fig. 15 une coupe agrandie.

1 est le récipient extérieur en bois avec couvercle 2, à ce couvercle est fixé un récipient intérieur 3 tenu éloigné de la caisse extérieure sur les côtés et sur le fond par des bandes 4. Le récipient intérieur est entouré presque jusqu'en haut par une paroi épaisse constituée par une bande 4 et une matière diélectrique 5 (par exemple de la poix ou du suif). L'espace 6 entre les caisses est ainsi à l'abri de tout accès d'acide. Le récipient intérieur 3 est divisé en chambres par des cloi-

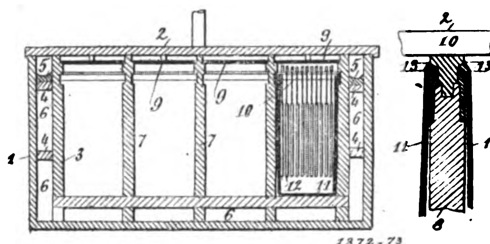


Fig. 14 Fig. 15

sons 7 et 8. Les cloisons 7 vont jusqu'au couvercle qu'elles supportent : les parois transversales 8 portent à leur partie supérieure des bandes 10 en matière isolante. Les éléments qui, à gauche de la fig. 14 sont représentés vides, reçoivent les récipients 11 en verre : les électrodes lourdes 12 ne reposent pas sur eux, mais sur les bandes 10. Les connexions 13 sont rendues inattaquables à l'acide par l'emploi d'un mélange diélectrique adhérent. Une extrémité du récipient porte une ouverture d'entrée d'air 14, et l'autre un trou pour la sortie de l'air. Il en est de même de l'espace intermédiaire qui porte les trous 16 et 17 : les gaz sont ainsi forcément évacués. Le récipient intérieur 3 peut être constitué de plusieurs parties. Dans ce cas leurs connexions sont couvertes du mélange diélectrique dont il a été question.

Éléments galvaniques et accumulateurs. Élément galvanique Schœnmehl. — pat. amer. 757-355 novembre 99, publiée en avril 1904.

Dans les éléments à oxyde de cuivre, le dépolarisant reste en haut et la solution s'appauvrit tellement vers le bas que la matière n'est pas active en totalité. Pour l'éviter, on peut incliner au moins l'une des parois. L'électrode de zinc porte des fentes et est placée dans un vase poreux présentant au passage du courant, entre les deux électrodes, une résistance grâce à laquelle l'épui-

sement de l'élément n'est pas rapide. L'oxyde de cuivre est placé contre la paroi du récipient et est maintenu par un cylindre perforé, très légèrement évasé vers le bas. L'épaisseur de la couche d'oxyde de cuivre diminue ainsi vers le bas.

R. V.

TRACTION

***Etablissement du fil de trôlet dans les courbes décrites par les voies de tramways à prise de courant aérienne à roulette.* — Wahle.** — Electrotechnische Zeitschrift, 1er septembre.

Dans les tramways électriques à prise de courant aérienne, le fil, dans les lignes droites, est placé à l'aplomb du milieu de la voie et sa projection coïncide avec l'axe de celle-ci. Dans les courbes, la voie décrit une circonférence tandis que le fil, ou sa projection horizontale, forment un polygone à côtés droits et à angles légèrement arrondis dont les sommets sont déterminés par la position et la distance des points d'appui. Les lois que l'on doit suivre pour l'établissement de ces derniers n'ont jamais été nettement formulées et vont faire l'objet de cette étude.

Dans les tramways urbains, on a généralement affaire à des courbes dont le rayon descend jusqu'à 15 mètres, et même quelquefois au-dessous.

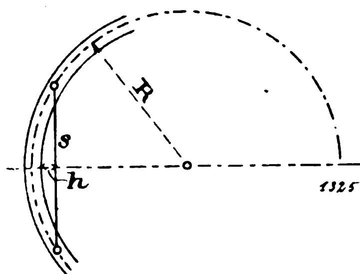


Fig. 1

L'écartement entre les points d'appui s'abaisse jusqu'à 2 ou 3 mètres pour de fortes courbures; il est indiqué, pour les arcs de différents rayons, par des tableaux établis une fois pour toutes. Ces tableaux sont basés sur la condition que la flèche de la courbe moyenne des deux rails entre deux points d'appui ne dépasse pas une certaine valeur. De la fig. 1 on tire alors l'équation :

$$\left(\frac{s}{2}\right)^2 = h\,(2R - h)$$

$$s = 2\sqrt{2Rh - h^2}$$

Comme la longueur des rails est au moins deux mètres, le rayon 15 mètres, la flèche inférieure à 0,25 mètres et que la longueur de la corde n'a pas besoin d'être connue à moins de 10 centimètres près, le 2e membre sous le radical peut être négligé et il vient :

$$s = \sqrt{8hR} \qquad (1)$$

Cette formule permet de dresser le tableau usuel suivant :

TABLEAU

R_m	S_m				
	$h = 0,05$	0,1	0,15	0,2	0,25
15	2,5	3,4	4,2	4,9	5,4
20	2,8	4,0	4,9	5,6	6,3
30	3,4	4,9	6,0	6,9	7,7
40	4	5,6	6,9	8,0	8,9
50	4,5	6.3	7,7	9,0	10,0
60	4;9	6,9	8,4	9.8	10,9
70	5,3	7,4	9,1	10,6	11,8
80	5,7	8,0	9,8	11,4	12,6
70	6,0	8,5	10,4	12,0	13,4
100	6,4	8,5	10,9	12,7	14,1
150	6,7	11	13,4	15,5	17,3
200	8,9	12,7	15,5	17.9	20,0
250	10,0	14,1	17,3	20,0	22,3
300	10,9	15,5	19,0	21,9	24,4
350	11,8	16,7	20,4	23,6	26,4
400	12,6	17,6	21,8	25,3	28,2

Mais des tableaux de ce genre ne donnent que des résultats approximatifs et conduisent souvent à des dispositions de fil où la roulette déraille : il est donc nécessaire de donner une solution rationnelle reposant sur une étude plus exacte.

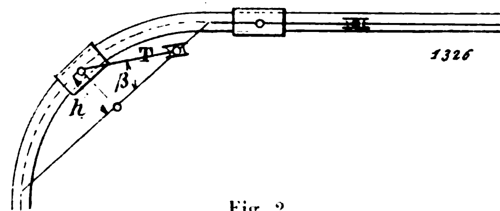


Fig. 2

La fig. 2 représente, à une échelle déformée, une projection du fil sur la voie de roulement. On voit que, dans les parties droites, la roulette est bien à cheval sur le fil, mais que, dans les courbes, elle fait un angle avec lui et déraille dès que cet angle devient trop considérable. Si l'on connaît cet angle β, on peut calculer facilement la flèche h pour laquelle il atteint sa valeur maxima :

$$h = T \sin \beta$$

Or, comme généralement les valeurs de β sont petites,

$$h = T\beta$$

en désignant par T la projection de la perche de trôlet, comptée jusqu'à l'axe de la roulette. Dans la suite, nous appellerons cette projection « *image de la perche* ».

Pour un modèle de voiture déterminé, l'image de la perche est constante tant que le fil est parallèle à la voie : certaines conditions pratiques d'exploitation déterminent sa longueur qui est généralement égale à la demi-longueur de la voiture moins une vingtaine de centimètres. Si l'on compte 25 centimètres par place assise et 1,20 m. pour la plateforme, les valeurs de T sont les suivantes :

Pour une voiture à 16 places assises $T = \frac{1}{2}\,\frac{16}{4} + 1,2 - 0,2 = 3$ mètres

20 — $T = \frac{1}{2}\,\frac{20}{4} + 1,2 - 0,2 = 3,5$ —

28 — $T = \frac{1}{2}\,\frac{28}{4} + 1,2 - 0,2 = 4,5$ —

Nous supposerons que la valeur maxima pour β soit

$$\beta = 5^{\circ}.$$

soit, rapporté à l'arc

$$\text{arc}\ \beta = 0,1873$$
$$\sin \beta = 0,0871.$$

De

$$h = T\beta$$

on tire, pour une voiture de

16 places assises $h = 0,087 . 3 = 0,26$ mètres
20 — $h = 0,087 . 3,5 = 0,3$ —
28 — $h = 0,087 . 4,5 = 0,39$ —

Si l'on calcule au moyen de l'équation 1 la longueur de corde pour différents rayons de courbure, on obtient, d'après le type de la voiture, différentes valeurs correspondantes au tableau suivant établi pour des voitures de 16, 20 et 28 places assises.

TABLEAU

R_m	S_m		
	16	20	28
50	10,1	10,9	12,5
60	11,1	12,0	13,7
70	12,0	12,9	14,9
80	22,8	13,8	15,8
90	13,6	14,7	16,7
100	14,4	15,5	17,7
125	16,0	17,3	19,7
150	17,6	18,9	21,6

Les valeurs de la corde sont des valeurs limites supérieures que l'on ne doit pas dépasser.

Dans la suite, pour ne pas avoir à faire le calcul pour différents types de voitures, nous supposerons toujours qu'il s'agit de voitures à 20 places assises pour lesquelles $T = 3,5$.

L'équation 1 n'est valable qu'au-dessous d'une certaine valeur limite du rayon. Soit BB' l'arc décrit avec le rayon moyen de courbure des rails. Inscrivons un polygone dont le côté est égal à l'image de la perche T. Soit β_0 l'angle de la roulette et du fil (fig. 3). Si l'on abaisse du centre du

Fig. 3

cercle la perpendiculaire OM sur CD et si l'on mène en C la tangente xy au cercle, on a

$$CM = \frac{T}{2}$$

$$\widehat{MOD} = \beta$$

Comme CE est perpendiculaire sur OD et CD sur OM,

$$\frac{T}{2} = R \sin \beta$$

$$\frac{T}{2} \backsimeq R\beta_0$$

(le signe $\backsimeq$ signifie « approximativement égal »).

$$R = \frac{T}{2\beta_0}$$

Dans notre cas

$$R = \frac{3,5}{2 . 0,087}$$

$$R \backsimeq 20 \text{ metres}$$

Dans les conditions que nous avons admises, la formule est valable jusqu'à cette valeur, mais en réalité la roulette déraille bien auparavant. Si l'on prolonge CD au-delà de C vers z et que l'on

mène en C la tangente xy au cercle on a

$$x\hat{C}F = 3\beta_0.$$

Supposons que la fig. 3 représente l'instant où la voiture se trouve en D et marche dans le sens indiqué par la flèche. Un instant auparavant elle elle était en D' et la roulette en C'; l'angle d'inclinaison était $x'C'F$ et tendait vers un maximum égal à $3\beta_0$: un instant plus tard la voiture est en D'', l'angle est D''C''E et son maximum est β. Dans le cas présent, comme la dernière valeur seule est admissible, la roulette aurait déraillé bien avant que la voiture soit arrivée en D. L'exemple montre d'une façon tout à fait générale que l'on doit toujours avoir la condition

$$x\hat{C}F \leq \beta.$$

Fig. 4

L'expression générale de cette condition peut être tirée de la fig. 4.

$$\beta = \alpha + \alpha_1$$

$$\alpha \backsim \sin \alpha = \frac{s}{2R}$$

$$\alpha_1 \backsim \sin \alpha_1 = \frac{T}{2R}$$

$$\beta = \frac{s + T}{2R}$$

$$s = 2\beta R - T \qquad (2)$$

Les longueurs de corde calculées au moyen de la formule (1) ou de la formule (2) sont tout à fait différentes, comme le montre le tableau suivant, établi par

$$\beta = 5^{\circ} \qquad T = 3,5 \text{ mètres}.$$

Pour ces valeurs, les équations sont

$$s = 1,55\sqrt{R} \qquad (a)$$

$$s = 0,174R - 3,5 \qquad (b)$$

TABLEAU

	(a)			(b)		
R	s	h	β	s	h	β
40	9,8	0,30	0,166	3,4	0,037	0,087
50	10,9		0,144	5,2	0,067	
60	12,0		0,129	6,9	0,099	
70	12,9		0,117	8,6	0,123	
80	13,8		0,108	10,4	0,169	
90	14,7		0,101	12,1	0,203	
100	15,5		0,095	13,1	0,214	
116	16,6		0,086	16,6	0,296	
150	18,9		0,075	22,6	0,425	
200	21,9		0,063	31,3	0,621	

Pour calculer les longueurs de corde pour un rayon donné, il faut prendre la plus petite des deux valeurs trouvées au moyen des deux formules ; dans le cas présent, il faut prendre, pour les rayons inférieurs à 116 mètres, la formule *b*, et pour les rayons supérieurs à 116 mètres la formule *a*. Il n'existe qu'un rayon pour lequel les deux formules conduisent à la même longueur de corde. Ce rayon est déterminé en égalant les équations 1 et 2 de la façon suivante :

$$2\beta R - T = \sqrt{8Rh}$$

$$4\beta^2R^2 - 4\beta TR + T^2 = 8Rh$$

$$\beta T \backsim h$$

$$R = \frac{1}{4\beta^2}(6h + \sqrt{36h^2 - 4\beta^2T^2}$$

$$\beta^2T^2 \backsim h^2$$

$$R = \frac{2,914\,h}{\beta^2} = \frac{2,914\,T}{\beta} \qquad (2\,a)$$

Dans le cas présent R = 116 mètres.

On voit bien d'après nos formules que le système généralement employé, qui consiste à placer les isolateurs à l'aplomb du milieu de la voie est extrêmement défavorable ; il est, de plus, laid et coûteux.

Si l'on pose $s = 0$, il vient

$$\beta_0 = \frac{T}{2R} \backsim \sin \beta_0$$

La signification géométrique de cette formule est donnée par la fig. 5.

Si l'on dessine à une échelle quelconque l'arc de la plus forte courbure que présente la voie étudiée, et si l'on porte du point P deux cordes

$$PC = PD = T,$$

l'angle que fait la roulette avec la tangente à l'arc lorsque la voiture se trouve au point C est

$$x\hat{P}C = \beta_0$$

On a

$$z\widehat{P}F = \beta > \beta_0$$

Dans le cas présent, pour un petit arc de 15 mètres

$$\beta > \frac{3,5}{2.15} \backsim 6^0\,40'$$

Si l'on détermine pour cet arc, la plus petite longueur de corde à employer, on trouve le plus petit rayon admissible pour un dispositif de prise de courant donné.

$$R = \frac{s+T}{2\beta}$$

D'après nos hypothèses, on a, pour une corde minima de 2 m 50.

$$R = \frac{2,5+3,5}{2.0,087} \backsim 35 \text{ mètres}$$

On peut de même calculer la plus petite inclinaison ou la plus grande longueur de l'*image de la perche*

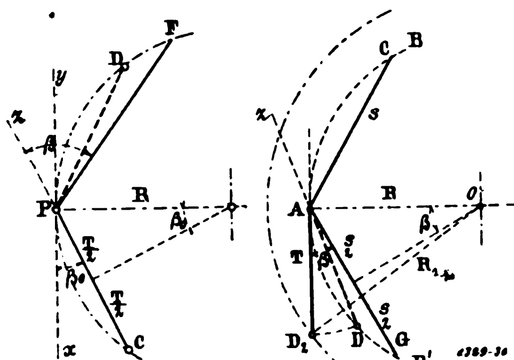


Fig. 5 Fig. 6

Ce dispositif permet d'en tirer le meilleur parti et, d'après nos hypothèses, la position la plus avantageuse théoriquement pour l'image de la perche est donnée par AD_2 (fig. 6) où en réalité le cercle mené par D_2 représente le cercle ayant pour rayon le rayon moyen de courbure de rails, tandis que les sommets du fil sont à une certaine distance de ce cercle.

On en déduit

$$\frac{s}{2} = R \sin \beta \backsim R\beta \qquad (3)$$

Si l'on admet pour la plus petite longueur admissible de corde la longueur de 2 m 50, on a

$$R = \frac{s}{2\beta} = \frac{2,5}{2.0,087} = 14,3 \backsim 15 \text{ mètres}$$

On peut, avec ce dispositif « *excentrique* » décrire des courbes de 15 mètres de rayon, tandis qu'avec le système précédent la limite est $R = 35^m$.

Les isolateurs sont placés à une distance $D_2o - Ao = R_1 - R$ où R désigne le rayon moyen de la courbe des rails, R le rayon de la courbe sur laquelle sont placés les sommets.

$$R_1 = \sqrt{R^2 + T^2}$$

ou approximativement

$$R_1 = R + \frac{T^2}{2R}$$

$$R_1 - R = \frac{T^2}{2R} = \frac{T^2}{2\sqrt{R_{21} - T^2}}$$

$$R_1 - R = \frac{T^2}{2R_1 - \frac{T^2}{R_1}} \qquad (4)$$

Pour l'exemple choisi, on a :

$$R_1 - R = \frac{3,5^2}{2.15 - \frac{3,5^2}{15}} = 0,42^m.$$

Lorsque le rayon croît, la longueur de corde croît aussi. Le cas limite est représenté par la fig. 7 ; dans ce cas, la projection de l'*image de la perche* est égale à la demi-longueur de corde

$$R_1 = \frac{T}{\sin \beta} \backsim \frac{T}{\beta}$$

Pour $R = 15$ et $s = 2,5$
il vient

$$\beta = \frac{s+T}{2R} = 0,2 \backsim 11^0,5$$

Pour $R = 15$ mètres $\beta = 5^0$
on trouverait

$$T = 2R\beta - s = 0,11 \text{ mètres}$$

Donc, pour des arcs de 15 mètres décomposés en corde de $2^m 50$ avec une roulette permettant une inclinaison de 5^0, il ne serait possible de marcher qu'avec une perche de contact telle que son *image* n'ait que 11 centimètres.

On arrive à des résultats bien meilleurs en disposant les sommets du polygone formé par le fil de telle sorte que leur projection tombe en dehors du milieu de la voie. Le montage est plus difficile mais les longueurs de corde auxquelles on arrive avec ce système sont beaucoup plus considérables et en justifient l'étude.

II

Dans la fig. 6, BB^1 représente un arc décrit avec le rayon moyen des rails. Supposons que le fil soit placé de telle façon que l'*image de la perche* soit plus grande que la $\frac{1}{2}$ longueur de corde.

$$AD = T > \frac{s}{2}$$

La voiture se trouve en D et la roulette en A. L'angle d'inclinaison de la roulette sur le fil atteint, avant d'avoir dépassé A, la valeur maxima $z\hat{A}C$ et après avoir dépassé A, la valeur $D\hat{A}G$.

Ces deux valeurs sont différentes et l'on peut les égaliser en faisant tourner D autour du point A ($AD = T$) jusqu'à ce qu'il vienne en D_2 hors du cercle; l'égalisation des deux valeurs est aussi parfaite que possible lorsque la droite AD_2 est tangente au cercle. Si l'on admet que la voiture se déplace sur un cercle concentrique passant par D_2 et que la roulette permette une inclinaison égale à $D_2\hat{A}G$, il n'y a aucune position de la voiture pour laquelle cette inclinaison soit dépassée.

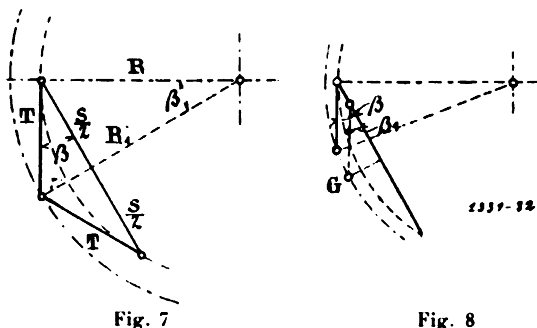


Fig. 7 Fig. 8

Dans l'exemple choisi $R_1 = 40$ mètres.

Si le rayon croît encore, il faut établir une nouvelle relation (fig. 8).

L'image de la perche (lorsque la roulette est au sommet) ne doit plus être tangente parce que, quand la voiture est au sommet G de la courbe, il se produit une inclinaison β_1 en tous cas supérieure à β. La condition à remplir (fig. 9) est

$$G\hat{L}H = z\hat{A}C = \beta,$$

ou

$$AB = GL = T$$

et zA est le prolongement de l'image AB au delà de A.

De plus on a :

$$GO = R_1 \quad . \quad AO = R$$

$$B\hat{A}o = \psi \quad y\hat{A}B = x\hat{A}z = \varphi$$

où x, perpendiculaire à AO, est la tangente au point A.

Dans le triangle BAO on a :

$$R_1^2 = R^2 + T^2 - 2RT\cos\psi$$

$$\psi = 90 - \varphi$$

et, comme $\sin\varphi \backsim \varphi$,

$$R_1 = \sqrt{R^2 + (T^2 - 2RT\varphi)}$$

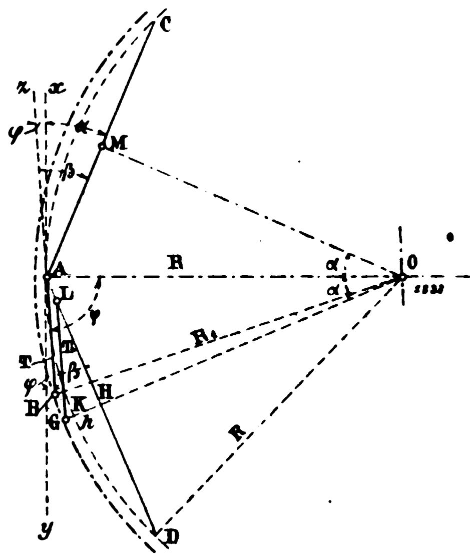


Fig. 9

approximativement

$$R_1 = R + \frac{T^2 - RT\varphi}{2R}$$

$$R_1 - R = \frac{T^2}{2R} - T\varphi$$

$$M\hat{O}A = x\hat{A}C = \alpha.$$

Comme MA est perpendiculaire à OM et xA perpendiculaire à OA,

$$\varphi = \beta - \alpha$$

$$T\beta \backsim T\sin\beta = GH = h$$

$$R_1 - R = \frac{T^2}{2R} - h + T\alpha \qquad (5)$$

De plus

$$h = R_1 - R + KH$$

$$KH = R - R\cos\alpha$$

$$= R\sin^2\frac{2\alpha}{2} \backsim R\frac{\alpha^2}{2}$$

$$R_1 - R = h - \frac{1}{2} R\alpha^2 \qquad (6)$$

En rassemblant (5) et (6)

$$\frac{T^2}{2R} - h + T\alpha = h - \frac{1}{2} R\alpha^2$$

$$R\alpha^2 + 2T\alpha + \frac{T^2}{R} - 4h = 0$$

$$\alpha = \frac{1}{R}\left(-T + \sqrt{T^2 - R\left(\frac{T^2}{R} = 4h\right)}\right)$$

$$\alpha = \frac{1}{R}(-T + 2\sqrt{Rh})$$

$$\frac{s}{2} = R \sin \alpha \quad , \quad s \sim 2R\alpha \qquad (7)$$

$$s = 2(-T + 2\sqrt{RT\beta}) \qquad (8)$$

$$s = 2(-T + 2\sqrt{Rh}) \qquad (9)$$

$$R_1 - R = \frac{T^2}{2R} + T\alpha - h$$

$$R_1 - R = \frac{T^2}{2R} + \frac{T}{R}\left(-T + 2\sqrt{Rh}\right) - h$$

$$R_1 - R = \frac{2T}{R}\left(\sqrt{Rh} - \frac{T}{4}\right) - h$$

Les équations 9 et 10 permettent de déduire s et (R_1 — R) des grandeurs T, h et R dont la première est donnée, et la seconde peut être déduite de l'égalité $h = T\beta$: R, rayon de la courbe sur laquelle sont placés les sommets est inconnu, car le rayon R_1 seul est donné. Pour de faibles rayons, comme $R_1 = 15$ mètres, le résultat de l'équation 10 est très peu modifié si l'on y introduit R_1 au lieu de R. L'erreur ne dépasse pas 2 centimètres, ce qui est très admissible en première approximation, surtout étant donné que le montage ne peut pas être fait avec une exactitude absolue.

En introduisant dans l'équation (9) la valeur de R ainsi calculée, on obtient exactement la valeur de la corde. En règle générale, pour des rayons de 40 à 50 mètres, on obtient des valeurs suffisamment exactes en introduisant simplement R_1.

Si l'on veut obtenir exactement R_1 — R, on peut introduire à nouveau dans l'équation (10) la valeur de R obtenue comme il a été dit. On pourrait trouver des relations contenant directement R_1, mais, pour en tirer des formules pratiques, il faudrait faire des approximations qui rendraient le résultat moins exact que par la méthode précédente. Lorsque le rayon croît, la distance R_1 — R des isolateurs diminue, et il existe une valeur pour laquelle elle s'annule. Cette valeur peut être calculée au moyen de l'équation (10).

$$0 = \frac{2T}{R}\left(\sqrt{Rh} - \frac{T}{4}\right) - h$$

$$\frac{h^2R^2}{4T^2} + \frac{hR}{4} + \frac{T^2}{16} = hR$$

$$\frac{h^2}{T^2} R^2 - 3hR + \frac{T^2}{4} = 0$$

$$R = \frac{T^2}{h^2}\left(\frac{3}{2}h + \sqrt{\frac{9}{4}h^2 - \frac{h^2}{T^2}\frac{T^2}{4}}\right)$$

$$R = \frac{T}{\beta}\left(1{,}5 + \sqrt{2}\right) = \frac{2{,}914\ T}{\beta} \qquad (2a)$$

De même que précédemment, on trouve, pour notre exemple,

$$R = 116\ m = R_1$$

Pour des valeurs plus grandes du rayon, R_1 — R devient négatif, c'est-à-dire que les isolateurs doivent être placés en dehors du milieu de la voie. Les équations (6) (8) (9) (10) prennent une forme différente.

III

Dans ce qui précède, nous avons pris comme valeur de l'angle d'inclinaison le chiffre de 5° pour rendre les résultats plus nets. En pratique, on prend souvent des valeurs plus fortes, comprises entre 6° et 12°.

Nous allons examiner les circonstances qui influent sur la valeur admissible de cet angle.

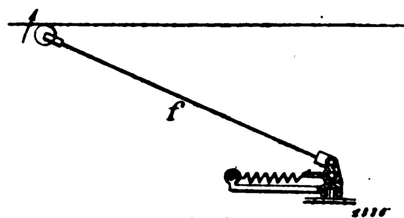


Fig. 10

La fig. 10 représente le dispositif habituel de prise de courant bien connu. Lorsque la roulette est à cheval sur le fil, le contact se produit en un point ou le long d'un petit arc de cercle ; lorsque la roulette est inclinée sur le fil, il peut se produire un contact en un ou deux autres points. Supposons (fig. 11) qu'en outre du contact a il y ait deux autres points de contact α et β et que le déplacement se fasse dans le sens de la flèche horizontale, la roulette étant appuyée contre le

fil avec une force P = 6 kgs. Si le frottement en α et β est plus faible qu'en a, la roulette tourne toujours et il se produit en α et β un glissement nuisible pour le fil et pour la roulette. Si, au contraire le frottement en α et β est supérieur à celui en a, la roulette glisse sans tourner.

Si l'on suppose le point α fixe, et le centre de la roulette sollicité par une force dirigée dans le

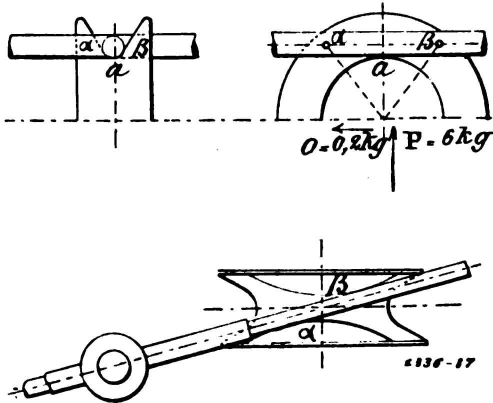


Fig. 11 et 12

sens du mouvement de la voiture (fig. 11), la résistance au point β tend à éloigner la roulette du fil et la résistance au point B tend à l'en rapprocher. Tant que ces deux forces s'équilibrent, la roulette glisse. Si la résistance en β augmente, la roulette déraille : cela peut se produire au droit d'un isolateur où l'épaisseur du fil est augmentée de celle du support (fig. 12).

Si l'on considère les conditions les plus favorables à la transmission du courant, il semble que le contact entre la gorge intérieure de la roulette et le fil doive être aussi complet que possible (fig. 13). Mais cela n'est pas admissible, car, par exemple, les points α et β de la roulette, placés sur des circonférences de rayons différents ont des vitesses relatives inégales par rapport au fil : une telle roulette ne permettrait d'ailleurs aucune inclinaison.

En donnant à la roulette un profil rectangulaire (fig. 14), on éviterait cet inconvénient, mais alors le fil frotterait continuellement contre un bord. Il faut donc donner à la gorge une forme convexe telle que le rayon de courbure dans l'arc de symétrie de la roulette soit supérieur au rayon du fil : d'autre part, il faut que ce rayon de courbure soit assez petit pour qu'il ne se produise pas de frottements nuisibles lorsque la roulette est inclinée.

On peut choisir empiriquement ce rayon en dessinant la position du fil sur la roulette avec l'inclinaison maxima permise et en occupant les deux surfaces par une série de plans horizontaux. Chacun de ces plans coupe le fil suivant deux droites et la roulette suivant deux courbes : il ne doit exister entre ces lignes ni intersection ni contact.

Les inégalités et les éclissages de la voie impriment à la voiture des chocs qui se transmettent à la roulette et que doivent amortir les ressorts d'appui de la perche. Plus le moment d'inertie de la roulette est considérable, et plus doit être

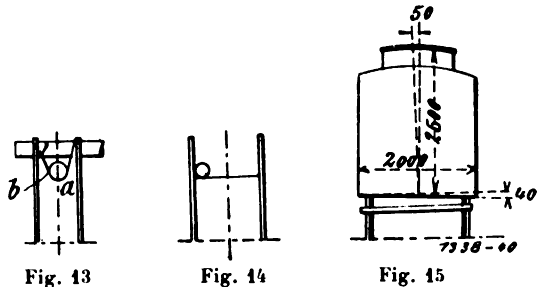


Fig. 13 Fig. 14 Fig. 15

forte la pression qui l'applique contre le fil : la profondeur de la gorge doit être telle que la roulette ne puisse pas dérailler sous l'effet des chocs de la voiture.

D'après les considérations qui précèdent, il est possible de déterminer quel angle d'inclinaison on peut admettre et quelle forme il faut donner à la roulette.

Le plus petit rayon de courbure que l'on rencontre dans les tramways urbains est R = 15 m.

Comme les croisements des rues sont la plupart du temps rectangulaires, on a à considérer un demi cercle décrit avec ce rayon. Si l'on place les isolateurs aux points où la courbe se raccorde aux lignes droites, la flèche de l'arc est :

$$h = R\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \backsim 4^{m}40,$$

ce qui est inadmissible, puisque cette valeur dépasse la valeur de l'image de la perche. Même des valeurs de h presque égales à T, pour lesquelles par conséquent l'image de la perche serait à peu près normale à l'arc, sont inadmissibles, car la roulette déraillerait.

On peut se proposer d'intercaler 3 points d'appui, pour lesquels

$$s_3 = 2r \sin\frac{\varphi}{2} = 11,48$$

ou 4 points, pour lesquels

$$s_4 = 7{,}5$$

et il s'agit de déterminer dans les deux cas les angles d'inclinaison et de voir si l'on arrive à des grandeurs de roulette admissibles. Pour calculer l'angle β, on s'appuie sur les équations (8), (9) et (10).

Ces dernières contiennent les grandeurs R et h sous une forme peu commode pour les calculs, et doivent être transformées.

De l'équation (9) on tire

$$R = \frac{\left(\frac{s}{2} + T\right)^2}{4h} = \frac{z}{4h}$$

où

$$z = \left(\frac{s}{2} + T\right)^2$$

Si l'on introduit cette valeur dans l'équation (5), ainsi que la valeur tirée de l'équation (7) :

$$\alpha = \frac{s}{2R},$$

il vient

$$R_1 - \frac{z}{4h} = \frac{T^2 4h}{2z} - h + \frac{Ts}{2} \cdot \frac{4h}{z}$$

$$\frac{8T^2}{z} h^2 - 4h^2 + 8\frac{T}{z} sh^2 - 4R_1 h + z = 0$$

$$4h^2\left(\frac{2T^2}{z} + \frac{2Ts}{z} - 1\right) - 4R_1 h + z = 0$$

Si, dans l'expression entre parenthèses, on remplace z par sa valeur primitive et que l'on réduise au même dénominateur, on obtient

$$4h^2\left(T^2 + Ts - \frac{s^2}{4}\right) - 4R_1 h + z = 0.$$

Désignons par z' l'expression entre parenthèses dans cette équation,

$$z' = z - \frac{s^2}{2},$$

il vient :

$$h = \frac{z}{2z'}\left(R_1 - \sqrt{R_1^2 - z_1}\right)$$

Approximativement, on a :

$$\sqrt{R_1^2 - z_1} = R_1 - \frac{z_1}{2R_1} - \frac{z_1^2}{8R_1^3}$$

$$h = \frac{z}{4R_1}\left(1 + \frac{z_1}{4R_1^2}\right)$$

$$h = \frac{z}{4R_1}\left(1 + \frac{z - \frac{s^2}{2}}{4R_1^2}\right) \qquad (11)$$

où

$$z = \left(T + \frac{S}{2}\right)^2. \qquad (12)$$

En négligeant, dans l'équation 11, le deuxième terme de la parenthèse, il vient

$$h = \frac{\left(T + \frac{s}{2}\right)^2}{4R_1}.$$

résultat que l'on obtient directement si l'on introduit dans l'équation (9) R_1 au lieu de R.

Les formules indiquées permettent de calculer les valeurs de λR et β pour 3 et 4 points : nous prendrons comme longueur de corde dans le premier cas $s_3 = 11$ m. 60 et, dans le second cas, $s_4 = 8$ mètres.

$$R_1 = 15$$
$$T_1 = 3{,}5$$
$$s_3 = 11{,}60$$
$$h_3 = 1{,}471$$
$$\sin\beta_3 = \frac{1{,}471}{3{,}5} = 0{,}420$$
$$\beta_3 = 24^\circ 50' \quad \backsim 25^\circ$$
$$s_4 = 8$$
$$h_4 = 0{,}963$$
$$\sin\beta_4 = \frac{0{,}963}{3{,}5} = 0{,}275$$
$$\beta_4 = 15^\circ 37{,}4' \quad \backsim 16^\circ.$$

R est donné par la fig. 9

$$R = \sqrt{(R_1 - h)^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2}$$

$$R_3 = 14{,}72$$
$$R_1 - R_3 = 0{,}28$$
$$R_4 = 14{,}595$$
$$R_1 - R_4 = 0{,}41$$

β_3 et β_4 seraient les angles pour lesquels se produirait le frottement de la roulette contre le fil. L'angle d'inclinaison admissible doit être plus grand pour éviter ce frottement.

Il faut en outre tenir compte de ce que, aux sommets, il n'y a pas que le fil, mais aussi les supports de fil auxquels il est soudé. Le fil a en général un diamètre de 8^{mm} ; avec 1/2^{mm} de paroi du support et 1/2^{mm} de soudure, on arrive au total de 10^{mm}. A ce total il faut ajoutèr 2^{mm} de jeu entre le fil et le point le plus près du rebord. Entre le centre d'inclinaison et ce point, il y a, dans les roulettes ordinaires, une distance de 45^{mm}. Les 2^{mm} de jeu correspondent donc à un angle de

$$\frac{2}{45} \cdot \frac{180}{\pi} = 2^\circ{,}55$$

Il faut de plus tenir compte de la forme bombée de la chaussée et du mouvement de roulis de la voiture.

L'inclinaison de la voie due à la forme de la chaussée, dépasse rarement 1°. Pour une hauteur de 3m 20, cela donne un écart de :

$$3,2 \frac{\pi}{180} = 55^{mm}$$

L'amplitude du mouvement de roulis peut être évaluée au maximum à 40mm ce qui, pour une caisse de 2m 50 de hauteur produit un écart de (fig. 6)

$$\frac{40 \times 2500}{2000} = 50^{mm}$$

L'écart total dû à l'inclinaison de la voie et au roulis est donc :

$$50 + 55 = 105^{mm}$$

Pour plus de sécurité, et pour parer à un défaut de montage de la voie, il faut à peu près doubler ce chiffre et prendre la valeur 200 mm.

Cela correspond à une inclinaison possible de la voiture de

$$\frac{0,2}{3,5} \cdot \frac{180}{\pi} = 3^0,28$$

Avec le jeu, on arrive donc au total de

$$3,28 + 2,55 \backsim 5^0 \text{ à } 6^0$$

Par conséquent il faut ajouter ce chiffre aux angles d'inclinaison trouvés théoriquement, d'où

$$\beta_3 = 25 + 6 = 31^0$$
$$\beta_1 = 16 + 6 = 22^0$$

Pour construire avec ces angles une roulette ayant le diamètre de profil minimum de 68mm et 20mm de bords, il faut opérer de la façon suivante : (fig. 16 et 17).

En premier lieu il faut déterminer la largeur de la roulette. Du centre, on décrit avec le plus grand diamètre de profil :

$$68 + 2.20 = 108^{mm}$$

un arc de cercle qui représente la limite extérieure du bord ; on porte sur *oy* la longueur *od* égale au plus petit rayon du profil de la roulette augmenté de celui du fil.

$$\left(\text{Ici } od = \frac{1}{2}(68 + 8) = 38^{mm}\right)$$

et l'on mène la droite *dz* parallèle à *ox* qui coupe le cercle en *r*.

On porte sur l'axe de *y*

$$og = dr$$

et l'on mène *gb* parallèle à *ox*.

On trace *ov* faisant avec *oy* l'angle d'inclinaison calculé et, à la distance de 5mm, on mène *qw* parallèle à *ov*.

Le point *b* d'intersection entre *qw* et *gb* est un point de la projection du cercle du bord.

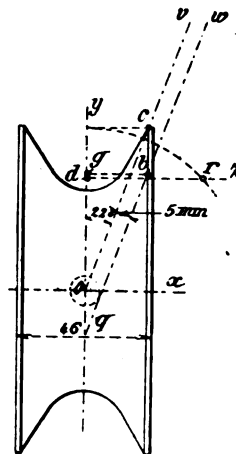


Fig. 16

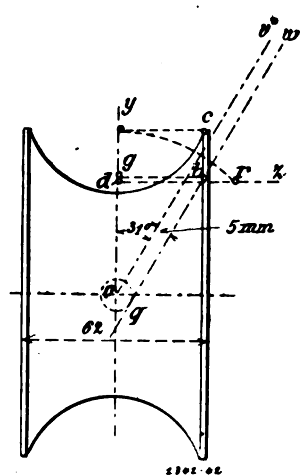


Fig. 17

Pour trouver la largeur totale de la roulette, on porte à droite et à gauche les 2mm d'épaisseur des bords et l'on obtient ainsi, dans le cas d'inclinaison de 31° et 22°, des largeurs de 62 et 46mm.

Le rayon du bord donne immédiatement le point *c*.

IV

Nous ne pouvons pas terminer cette étude sans mentionner le trôlet désaxé système Dickinson qui permet à la roulette de tourner autour d'un axe 4 vertical et de rester toujours à cheval sur le fil. Ce système qui théoriquement résoud d'une façon parfaite la question de la prise de courant aérienne, a présenté, tout au moins sous sa forme primitive, un certain nombre d'inconvénients, et son fonctionnement n'a pas été très bon. Actuellement, il a été l'objet de plusieurs modifications et perfectionnements et semble, dans les essais auxquels il est soumis sur plusieurs lignes de tramways, donner de bons résultats.

O. A.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Sur l'énergie dissipée dans le fer par hystérésis aux fréquences élevées. — Note de MM. **Ch.-Eug. Guye** et **A. Schidlof.**

« Dans une précédente Note [1] présentée par l'un de nous, en collaboration avec M. B. Herzfeld, nous avions constaté que la puissance consommée dans le fer pouvait être représentée en fonction de la fréquence n par une équation de la forme $y = An + Bn^2$ à la condition de n'employer que des fils de très petit diamètre.

» En outre, ces expériences avaient montré qu'au fur et à mesure que le diamètre est plus petit, le coefficient B diminue, de sorte que pour des fils suffisamment fins (0 cm., 0038) l'équation se réduit à une droite.

» Les expériences définitives, dont nous communiquons aujourd'hui les résultats, ont été effectuées par la même méthode, à laquelle ont été apportés divers perfectionnements. En particulier, nous avons substitué au fil unique, tendu dans l'axe de chaque bobine, un faisceau de 10 fils, de façon à augmenter un peu l'élévation de température due à l'hystérésis.

» La sensibilité du galvanomètre a pu être diminuée, ce qui a rendu inutile toute correction relative à la variation de résistance du fil sous la seule influence de l'aimantation.

» *Résultats.* — Le diamètre de chacun des fils composant le faisceau était de 0 cm., 0060. Les expériences ont été effectuées sur trois champs différents et pour des fréquences variant entre 300 et 1200 périodes.

» Dans toutes ces expériences, les courbes expérimentales se sont confondues avec des droites dans la limite des erreurs de la méthode. Les tableaux suivants montrent avec quelle approximation cette loi linéaire est vérifiée expérimentalement.

» Dans ces tableaux n représente la fréquence; δ la déviation du galvanomètre; H le champ magnétisant efficace ; ε l'écart sur la valeur moyenne. La sensibilité dans la dernière série était 1,28 fois plus grande que dans les précédentes.

n.	$\frac{\delta}{n}$.	ε.	
1200	0,32451	+ 0,00132	H = 56,6
1100	0,32105	— 0,00214	
1008,3	0,32341	+ 0,00022	
898,1	0,32080	— 0,00239	
800	0,31875	— 0,00444	
700	0,32046	— 0,00273	
611,1	0.32488	+ 0,00169	
500	0,32200	— 0,00119	
400	0,32842	+ 0,00523	
300	0,32757	+ 0,00438	
1191,7	0,25631	+ 0,00028	H = 18,84
1108,3	0,25649	+ 0,00046	
1000	0,25652	+ 0,00049	
901,7	0,25569	— 0,00034	
793,3	0,25347	— 0,00256	
704,2	0,25858	+ 0,00255	
599,2	0,25536	— 0,00067	
503,3	0,25381	— 0,00222	
402,8	0,25883	+ 0,00280	
301,4	0,25527	— 0,00076	
1200	0,08775	+ 0,00058	H = 9,42
1102,5	0,08755	+ 0,00038	
1016,7	0,08613	— 0,00104	
900	0,08708	— 0,00009	
800	0,08996	+ 0,00279	
700	0,08744	+ 0,00027	
600	0,08730	+ 0,00013	
500	0,08756	— 0,00040	
402,1	0,08631	— 0,00086	
298,2	0,08459	— 0,00257	

» L'écart moyen de chaque mesure sur la valeur moyenne est d'environ 0,8 pour 100. En outre, comme le montrent les tableaux précédents, le nombre des écarts positifs est sensiblement égal à celui des écarts négatifs.

» Ces expériences confirment, avec une approximation plus grande, les résultats précédemment obtenus; *l'énergie consommée par cycle est, dans ces limites de fréquence, indépendante de la vitesse avec laquelle le cycle d'aimantation est parcouru.* »

Sur la déperdition de l'électricité dans l'air au voisinage des sources thermales. — Note de M. **A. B. Chauveau**, présentée par M. Mascart.

« Au cours d'un voyage dans les Pyrénées, j'ai pu exécuter, avec l'appareil portatif de MM. Elster

(1) *Comptes rendus*, 20 avril 1903.

et Geitel dont j'ai fait précédemment usage à la Tour Eiffel [1], de nombreuses mesures de déperditions, aussi variées que possible, et qui seront publiées ultérieurement dans tous leurs détails. Parmi ces mesures, quelques-unes ont été faites au voisinage immédiat des sources qui alimentent les Thermes de Cauterets; elles m'ont donné, sur l'influence de ce voisinage, des résultats très nets qu'il peut être intéressant de rapprocher des recherches récentes de MM. P. Curie et A. Laborde sur la radioactivité des gaz extraits de diverses sources thermales [2].

» Sur les conseils de M. Mécéra, directeur de l'exploitation des établissements de Cauterets, à l'obligeance duquel je dois d'avoir eu toutes les facilités désirables pour l'exécution de mes expériences, j'ai trouvé des conditions particulièrement favorables en étudiant la source dite *de César*, qui est d'ailleurs une des plus anciennes et des plus réputées de la région.

» Les eaux de cette source sont recueillies, à leur sortie du griffon, dans un grand réservoir en béton recouvert par une galerie voûtée d'une quinzaine de mètres de longueur. Ce réservoir est complètement fermé ; mais, sur sa partie supérieure, se trouvent des dalles mobiles, percées elles-mêmes de regards étroits. Ces regards suffisent pour que l'air de la galerie soit bien imprégné de toute émanation venue du liquide ; ils sont insuffisants pour que cet air soit saturé d'humidité. En fait, l'intérieur de la galerie, dont la température dépasse 40°, m'a paru très sec. Cette condition, qui n'est pas réalisée, par exemple, quand on opère dans une salle de bains au voisinage d'une surface d'eau thermale à température élevée, est essentielle au succès de l'expérience : elle laisse aux ions leur mobilité que l'abondance de la vapeur d'eau paralyse. La porte de la galerie, ordinairement fermée, s'ouvre sur une salle spacieuse et bien aérée, servant de buvette, et par laquelle on accède à l'extérieur.

» Cette disposition générale permettait de faire successivement trois déterminations : à l'extérieur, dans la salle de la buvette, dans la galerie du réservoir, et de mettre ainsi bien en relief les anomalies constatées dans cette dernière.

» J'ai obtenu les résultats suivants en me conformant au mode opératoire indiqué par MM. Elster et Geitel et en employant leur cylindre-abri fermé. L'isolement de l'appareil, fréquemment vérifié, était assez parfait pour supprimer toute correction aux mesures directes ; celles-ci ont été faites alternativement avec des charges positives et négatives. L'altitude du lieu d'observation, situé à flanc de montagne, est voisine de 1100m. Elle est de 150m, environ, supérieure à celle de Cauterets.

	(+)	(—)
A l'air libre...............	7,8	7,9
Dans la salle de la buvette.	6,9	7,9
Dans la galerie du réservoir.	24,4	25,7

» La déperdition observée au voisinage du réservoir est donc trois fois plus grande que la déperdition à l'air libre. En prolongeant l'expérience dans la galerie, on voit, sous l'influence de l'aération produite par la porte restée ouverte, la déperdition diminuer peu à peu, tout en conservant une valeur très forte : après une heure et demie, elle était devenue (+) 18,2, (—) 18,1.»

(1) *Comptes rendus*, 25 juillet et 8 août 1904, pages 277 et 400.

(2) *Comptes rendus*, 9 mai 1904, page 1150.

ERRATUM

Dans le n° 43, 22 octobre 1904, article A. Witz, page 123, 29e ligne, lire **1.000 m/m de diamètre** au lieu de **100** m/m.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant: A. BONNET.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA THÉORIE DU MOTEUR SÉRIE COMPENSÉ MONOPHASÉ *(suite)* (1)

Dispersion.

Comme l'on s'en rend compte par les formules (5, (6, (7, la dispersion magnétique $\left(\text{définie par le coefficient de dispersion bien connu } \sigma = 1 - \frac{M^2}{\lambda_1\lambda_2}\right)$ augmente le retard du courant I_1 sur la tension aux bornes U_1, toutes choses égales d'ailleurs.

En d'autres termes, elle augmente la vitesse critique ω_0 de la formule (7), vitesse pour laquelle l'angle φ s'annule, et il est du reste évident que l'on devra s'efforcer de la réduire le plus possible comme dans tous les moteurs à courants alternatifs. Nous reviendrons ultérieurement sur son rôle lors de la discussion des diagrammes.

Influence de la résistance secondaire r_2.

Pour $r_2 = \infty$, l'impédance z_2 devient également infinie et l'on a $\sin\gamma = 0$ d'où $\omega_0 = \infty$; l'on retombe alors sur les équations du moteur série ordinaire, ce qui était à prévoir puisque dans ce cas $I_2 = 0$.

Lorsque r_2 varie de l'∞ à 0, l'influence compensatrice du circuit secondaire B_2 B_2 se fait de plus en plus sentir et elle devient maxima pour $r_2 = 0$. L'on aura donc toujours intérêt à rendre cette résistance r_2 la plus petite possible, d'autant plus qu'elle absorbe une partie de

(1) Dans l'article du 1er Octobre 1904, se sont glissées les fautes d'impression suivantes :
— Formule (*a* et 5e ligne, lire $M\omega I_1^2$ au lieu de $M\Omega I_1^2$.
— Formule (6, lire au dénominateur $M\omega$ au lieu de $M\Omega$.
— Enfin, formule (7, lire ω_0 au lieu de Ω_0.

**

l'énergie fournie au moteur, tout en étant désavantageuse pour la commutation, comme nous le verrons plus loin.

Echauffement du rotor.

Il ne faut pas oublier que le cuivre du rotor est traversé simultanément par les deux courants I_1 et I_2 et qu'il doit, par suite, avoir une section suffisante pour supporter ce double échauffement ; la perte dans le cuivre du rotor est évidemment dans le cas ordinaire d'un seul enroulement sur le rotor :

$$W_r = r_2 (I_1^2 + I_2^2)$$

ou en fonction de I_1 seulement :

$$W_r = r_2 I_1^2 \left[1 + \frac{\lambda_2^2 \omega^2 + M^2 \Omega^2}{z_2^2} \right].$$

La quantité entre crochets est le facteur par lequel on doit multiplier la perte dans le cuivre d'un moteur série ordinaire pour avoir la perte correspondante du moteur série compensé muni du même rotor ; il est facile de voir que ce facteur est toujours beaucoup plus grand que l'unité en pratique.

Par exemple, si r_2^2 est négligeable par rapport à $\lambda_2^2 \Omega^2$ et si les fuites magnétiques sont faibles ($M^2 = \lambda_1 \lambda_2$ environ), l'expression de Wr est au synchronisme ($\omega = \Omega$) :

$$W_r = r_2 I_1^2 \left[2 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right]$$

Si l'on prend pour $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ la valeur minima admissible 2 ([1]) l'on obtient finalement :

$$W_r = 4 r_2 I_1^2$$

L'accroissement des pertes dans le cuivre rotorique, dû à la présence des balais court-circuités $B_2 B_2$, est donc loin d'être négligeable.

Étude géométrique ([2])

En partant des égalités (5 et (6, il est facile d'écrire l'équation du lieu polaire du courant I_1 en fonction de l'angle φ ; en effet l'on en tire les relations :

$$U_1 \cos \varphi = \left(r_1 + M\omega + \frac{\mu^2 \omega^2 + M^2 \Omega^2}{z_2} \cos \gamma \right) I_1 \qquad (8$$

$$U_1 \sin \varphi = \left(\lambda_1 \Omega + \lambda_2 \Omega - \frac{\mu^2 \omega^2 + M^2 \Omega^2}{z_2} \sin \gamma \right) I_1 \qquad (9$$

entre lesquelles il suffit d'éliminer ω pour obtenir l'équation demandée.

Pour opérer cette élimination, multiplions (8 par $\sin \gamma$, (9 par $\cos \gamma$ et ajoutons membre à membre ; il vient après simplification :

$$U_1 (\cos \varphi \sin \gamma + \sin \varphi \cos \gamma) = [r_1 \sin \gamma + M\omega \sin \gamma + (\lambda_1 \Omega + \lambda_2 \Omega) \cos \gamma] I_1$$

ou bien encore :

$$U_1 \sin (\varphi + \gamma) = (p + M\omega \sin \gamma) I_1 \qquad (10$$

ou posant pour abréger :

$$p = r_1 \sin \gamma + (\lambda_1 \Omega + \lambda_2 \Omega) \cos \gamma$$

([1]) Voir l'*Eclairage Electrique* 1er Octobre 1904, page 10.

([2]) Dans une première lecture l'on peut passer directement au paragraphe intitulé : *Etude graphique approchée.*

De l'égalité (10 tirons la valeur de ω et portons-la dans l'égalité (9 :

$$\omega = \frac{\frac{U_1}{I_1}\sin(\varphi+\gamma) - p}{M \sin\gamma}$$

$$U_1 \sin\varphi = \left(\lambda_1\Omega + \lambda_2\Omega - \frac{M^2\Omega^2}{z_2}\sin\gamma\right) I_1 - \frac{\mu^2 I_1 \sin\gamma}{z_2} \times \frac{\left(\frac{U_1}{I_1}\sin(\varphi+\gamma) - p\right)^2}{M^2\sin^2\gamma}$$

Telle est l'équation cherchée.

Dans tout ce qui suit, nous supposerons qu'il n'y a qu'un seul enroulement sur le rotor ($\mu = \lambda_2$) ; l'équation précédente peut alors se mettre sous une forme plus simple en remarquant que :

$$\lambda_2\Omega = z_2 \sin\gamma$$

et

$$M^2 = \lambda_1\lambda_2(1-\sigma)$$

Si l'on désigne de plus le facteur constant $\lambda_1\Omega + \lambda_2\Omega - \frac{M^2\Omega^2}{z_2}\sin\gamma$ par q, l'on obtient

$$U_1 \sin\varphi = qI_1 - \frac{I_1}{(1-\sigma)\lambda_1\Omega}\left(\frac{U_1}{I_2}\sin(\varphi+\gamma) - p\right)^2$$

ou encore en développant et en ordonnant :

$$U_1 \sin\varphi = qI_1 - \frac{U_1^2\sin^2(\varphi+\gamma)^2}{(1-\sigma)\lambda_1\Omega I_1} + 2\frac{U_1 p\sin(\varphi+\gamma)}{(1-\sigma)\lambda_1\Omega} - \frac{p^2 I_1}{(1-\sigma)\lambda_1\Omega}$$

$$I_1^2[(1-\sigma)\lambda_1\Omega q - p^2] + I_1U_1[2p\sin(\varphi+\gamma) - (1-\sigma)\lambda_1\Omega\sin\varphi] - U_1^2\sin^2(\varphi+\gamma) = 0 \qquad (11$$

Sous cette dernière forme, l'on voit facilement qu'en remplaçant $I_1\cos\varphi$ par x et $I_1 \sin\varphi$ par g l'on serait amené à une courbe algébrique du 4me degré en x et y.

L'on peut toutefois, par une construction graphique très simple, connaître pour chaque valeur de l'angle φ la valeur correspondante du courant primaire I_1 : l'équation (11 est du second degré en I_1 et l'on peut, par suite, expliciter cette variable.

$$I_1 = \frac{U_1((1-\sigma)\lambda_1\Omega\sin\varphi - 2p\sin(\varphi+\gamma))}{2((1-\sigma)\lambda_1\Omega q - p^2)} \pm \sqrt{\frac{U_1^2((1-\sigma)\lambda_1\Omega\sin\varphi - 2p\sin(\varphi+\gamma))^2}{4((1-\sigma)\lambda_1\Omega q - p^2)^2} + \frac{U_1^2\sin^2(\varphi+\gamma)}{(1-\sigma)\lambda_1\Omega q - p^2}} \qquad (12$$

$$= U_1\left(\frac{a'\sin\varphi - a''\sin(\varphi+\gamma)}{2}\right) \pm \sqrt{U_1^2\frac{(a'\sin\varphi - a''\sin(\varphi+\gamma))^2}{4} + U_1^2 a'''^2\sin^2(\varphi+\gamma)} \qquad (12'$$

avec

$$a' = \frac{(1-\sigma)\lambda_1\Omega}{(1-\sigma)\lambda_1\Omega q - p^2}$$

$$a'' = \frac{2p}{(1-\sigma)\lambda_1\Omega q - p^2}$$

$$a''' = \frac{1}{\sqrt{(1-\sigma)\lambda_1\Omega q - p^2}}$$

Décrivons (fig. 2) sur $OA = \frac{U_1 a'}{2}$ et sur $OB = \frac{U_1 a''}{2}$ des cercles, l'angle AOB étant égal à l'angle γ [1], puis, par le point O menons un rayon vecteur OC tel que l'angle $COY = \frac{\pi}{2} - COA$ repré-

[1] En réalité γ est très voisin de $\frac{\pi}{2}$ et le cercle décrit sur OB très petit; nous n'avons pas observé ces proportions à dessein sur la figure afin de la rendre plus claire.

sente l'angle φ pour lequel l'on veut connaître le courant primaire correspondant I_1. L'on voit immédiatement sur la figure que le segment DC a pour valeur

$$\begin{aligned} DC &= OC - OD \\ &= \frac{U_1 a'}{2} \sin CAO - \frac{U_1 a''}{2} \sin DBO \\ &= \frac{U_1 a'}{2} \sin \varphi - \frac{U_1 a''}{2} \sin (\varphi + \gamma) \end{aligned}$$

c'est-à-dire représente le premier terme du second membre de l'égalité 12'.

Fig. 2

Reste à construire le radical ; remarquons tout d'abord que le signe + convient seul au fonctionnement en moteur, puisque dans ce cas le courant I_1 a été considéré comme positif.

Prolongeons OB d'une quantité OK telle que

$$BK = U_1 a'',$$

décrivons un troisième cercle sur OK comme diamètre et prenons le point N d'intersection de ce dernier cercle avec OC ; l'on a évidemment :

$$\begin{aligned} DN &= BK \sin (\varphi + \gamma) \\ &= U_1 a'' \sin (\varphi + \gamma) \end{aligned}$$

Donc, si l'on rabat DN en DN' sur la direction BD par une rotation autour du point D et que l'on tire N'C, cette ligne ayant pour expression

$$N'C = \sqrt{\overline{DC}^2 + \overline{DN}'^2}$$

peut servir à la représentation graphique du radical de l'égalité 12'.

Finalement, par un deuxième rabattement de N'C en GC, sur la direction OC, l'on obtient en DG = DC + N'C une longueur proportionnelle au courant I_1, correspondant à une valeur quelconque de l'angle φ.

En résumé, l'on voit que la construction se réduit aux rabattements successifs de deux longueurs mesurées directement sur la figure, les trois cercles étant tracés une fois pour toutes. Il serait possible, en procédant d'une manière analogue, de trouver par un procédé graphique la vitesse ω et le courant secondaire I_2 correspondant à chaque valeur de φ, mais

la complexité des coefficients tels que p et q nous semble devoir rendre ces constructions d'une application peu commode en pratique.

Fort heureusement, cette complexité est due uniquement à l'existence des termes en r_1 et r_2 et ces termes sont négligeables dans un bon moteur. Nous arrêterons donc là, pour le moment, l'étude graphique rigoureuse du moteur série compensé et nous passerons immédiatement au cas qui se présentera le plus ordinairement, celui où les résistances ohmiques sont considérées comme nulles.

Etude graphique approchée.

L'hypothèse de $r_1 = r_2 = o$ conduit à une approximation bien suffisante en pratique, au moins égale à celle donnée par le diagramme circulaire bien connu Behrend-Blondel-Heyland dans le cas des moteurs polyphasés asynchrones. Il est d'ailleurs à remarquer que les régimes de démarrage n'ont pas besoin ici d'être déterminés avec une grande précision, ces régimes étant définis *à priori* par diverses conditions, par exemple : démarrage à intensité constante (c'est-à-dire à couple constant) avec emploi de transformateur à rapport de transformation réglable.

L'équation polaire du courant primaire I_1 dans l'hypothèse présente n'est évidemment qu'un cas particulier de l'équation 12' pour lequel

$$a' = \frac{1}{q}$$

$$a'' = 0$$

$$a''' = \frac{1}{\sqrt{(1-\sigma)\lambda_1\Omega q}}$$

puisque $r_1 = 0$, $\cos\gamma = 0$, donc aussi $p = 0$.

Mais, étant donné le grand intérêt pratique de ce cas particulier, nous allons établir directement par une méthode géométrique l'expression du courant primaire I_1 en fonction de φ.

Mises sous formes vectorielles, les égalités (1 et (2 [1]) deviennent :

$$\overline{U_1} = \overline{M\omega I_1} + \overline{(\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1} + \overline{\mu\omega I_2} + \overline{M\Omega I_2} \qquad (13$$

$$0 = \overline{\lambda_2 \Omega I_2} + \overline{M\Omega I_1} - \overline{\mu\omega I_1} \qquad (14$$

Fig. 3

les résistances ohmiques étant supposées nulles.

(Les vecteurs en Ω sont, comme on le sait, en quadrature avec les courants correspondants.)

Soit OA (fig. 3) la direction du courant primaire I_1 prise comme origine des phases ; l'équation (14 nous donne évidemment le triangle rectangle OAB dans lequel :

$$OA = \mu\omega I_1$$

$$AB = M\Omega I_1$$

$$OB = \lambda_2 \Omega I_2$$

Si l'on pose

$$\alpha = \text{angle ABO},$$

l'on a donc :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\mu\omega}{M\Omega}$$

[1] Voir l'*Éclairage Electrique*, du 1er octobre 1904, page 7.

L'égalité vectorielle (13 fournit de même le contour polygonal OCDFE dans lequel :

$$\begin{aligned} OC &= M\omega I_1 \\ CD &= (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 \\ DF &= M\Omega I_2 \\ FE &= \mu\omega I_2 \\ OE &= U_1 \end{aligned}$$

Il est d'ailleurs aisé de voir que le point E tombe sur la droite CD : l'angle CDF est en effet égal à l'angle ABO $= \alpha$ comme ayant ses côtés parallèles chacun à chacun et l'angle EDF est aussi égal à α puisque

$$\operatorname{tg} EDF = \frac{\mu\omega}{M\Omega} = \operatorname{tg} \alpha$$

Il en résulte que la droite ED coïncide avec AD et le point E se trouve bien sur AD.

Calculons EC

$$\begin{aligned} EC &= CD - ED \\ &= (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 - \frac{EF}{\sin \alpha} \\ &= (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 - \frac{\mu\omega I_2}{\sin \alpha} \end{aligned}$$

et comme le triangle rectangle OAB donne la relation :

$$\mu\omega I_1 = \lambda_2 \Omega I_2 \sin \alpha$$

finalement

$$\begin{aligned} EC &= (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 - \frac{\mu^2\omega^2 I_1}{\lambda_2 \Omega \sin^2 \alpha} \\ &= (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 - \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{\lambda_2\Omega} I_1 \end{aligned}$$

D'autre part l'angle AOE est l'angle φ de décalage entre U_1 et I_1 et le triangle rectangle COE fournit les égalités :

$$\begin{aligned} U_1 \sin \varphi &= (\lambda_1 + \lambda_2)\Omega I_1 - \frac{\mu^2\omega^2 + M^2\Omega^2}{\lambda_2\Omega} I_1 \\ U_1 \cos \varphi &= M\omega I_1 \end{aligned}$$

En tirant la valeur de ω de la dernière de ces deux égalités et en la portant dans la première l'on obtient

$$U_1 \sin \varphi = \left(\lambda_1 + \lambda_2 - \frac{M^2}{\lambda_2}\right)\Omega I_1 - \frac{\mu^2 I_1}{\lambda_2 \Omega} \times \frac{U_1^2 \cos^2 \varphi}{M^2 I_1^2}$$

ou encore

$$\left(\lambda_1 + \lambda_2 - \frac{M^2}{\lambda_2}\right) \lambda_2 M^2 \Omega^2 I_1^2 - \lambda_2 M^2 \Omega I_1 U_1 \sin \varphi - \mu^2 U_1^2 \cos^2 \varphi = 0 \qquad (15$$

L'équation cherchée est obtenue ainsi très facilement; il est d'ailleurs aisé de voir que l'on serait arrivé au même résultat en partant de l'équation générale 12′ et en y faisant $r_1 = r_2 = 0$.

Dans toute la suite de cette étude, nous nous placerons toujours dans le cas ordinaire d'un seul enroulement rotorique ($\mu = \lambda_2$); si de plus l'on remarque que, dans le cas actuel, l'expression

$$\frac{U_1}{\left(\lambda_1 + \lambda_2 - \frac{M^2}{\lambda_2}\right)\Omega}$$

représente le courant de démarrage I_{1d}, et que $M^2 = (1-\sigma)\lambda_1\lambda_2$, l'équation 15 prend la forme simple [1]

$$I_1^2 - I_1 I_{1d} \sin\varphi - \chi I_1^2{}_d \cos^2\varphi = 0 \qquad (16$$

en posant :

$$\chi = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 - \frac{M^2}{\lambda_2}}{(1-\sigma)\lambda_1}$$

Ce facteur χ joue un grand rôle dans la théorie du moteur série compensé, comme nous le verrons plus loin ; mis sous la forme

$$\chi = \frac{\sigma + \xi}{1 - \sigma}$$

il n'est fonction que du coefficient de dispersion σ et du rapport ξ du coefficient de self-induction rotorique au coefficient de self-induction statorique.

(*A suivre*)

J. BETHENOD,
Ingénieur Electricien.

NOTE SUR LE RENDEMENT DES TURBINES A GAZ

La turbine à gaz occupe à l'heure actuelle un nombre suffisant d'inventeurs, et présente par elle-même assez d'intérêt pour que, dès maintenant, il nous soit permis de donner un aperçu de la question. Sans vouloir devancer ce que l'expérience seule pourra nous démontrer, il est cependant intéressant d'envisager actuellement quelle sera la valeur économique de cette machine. On verra que s'il est prématuré d'affirmer la réalisation très prochaine de ce problème, il est plus téméraire encore de la part de certains ingénieurs de le prétendre insoluble. La faveur présente dont jouit la turbine augmentant chaque jour, il est évident qu'une machine réunissant en elle les avantages de la turbine à vapeur et du moteur à gaz devait particulièrement attirer l'attention des ingénieurs. On trouve en effet une multitude de systèmes différents ayant déjà fait l'objet de nombreuses prises de brevets, dont certains ont déjà été expérimentés. De tous ces systèmes, le plus simple et, à notre avis, le plus rationnel est celui de la turbine à combustion continue.

⁂

Cette turbine fig. 1 comprend en principe : une chambre de combustion A intérieurement garnie de matière réfractaire BB ou munie extérieurement d'une enveloppe d'eau CC. Elle est alimentée : 1° en D par un courant continu d'air comprimé par un ventilateur à haute pression calé sur l'arbre de la turbine, 2° en E par un jet continu de pétrole sous pression qui se mélange intimement à l'air, qu'on enflamme au moyen d'une bougie électrique G et qui, en brûlant, développe en A une température d'environ 1800° C.

(1) Cette équation renferme comme cas particuliers immédiats les équations données par M. Lehmann pour la même disposition des balais. Sans vouloir diminuer le mérite incontestable de son remarquable mémoire, nous nous permettrons de faire observer que le cas particulier ($\lambda_1 = \lambda_2$) envisagé par lui, ne peut se présenter en pratique pour une marche à potentiel constant : comme nous l'avons déjà fait remarquer (voir *Éclairage Électrique*, 1er octobre 1904, page 10) un tel moteur serait inutilisable.

A la sortie de la tuyère H les gaz partiellement refroidis par la détente actionnent une roue à aubes I. Celle-ci est maintenue à une température convenable soit par circulation intérieure d'eau, soit par le dispositif de la fig. 1, ou encore par la réunion de ces deux moyens.

On peut, en effet, comme le représente schématiquement la fig. 1 ajouter à la tuyère H à température trop élevée, une seconde tuyère M à température plus basse, de telle sorte

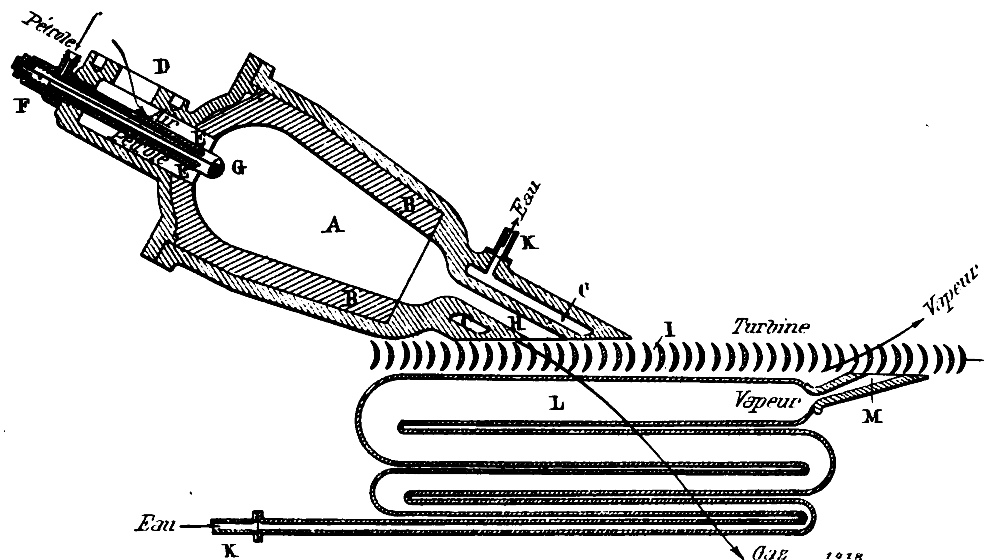


Fig. 1
Turbine à gaz combinée avec turbine à vapeur récupérée

que la moyenne résultante pour un élément quelconque du disque I, n'offre plus de danger à sa conservation.

Une tuyère M, alimentée par de la vapeur pouvant se détendre à très faible pression et à très basse température, remplit le but proposé. Cette vapeur créée avec l'eau réchauffée dans les enveloppes arrive par K dans un récupérateur L chauffé par les gaz d'échappement.

⁂

Nous voyons que les trois difficultés à vaincre avant tout étaient les suivantes :

1° L'allumage et la combustion complète d'un courant continu de gaz et d'air mélangés, animé d'une certaine vitesse ;

2° La construction de la machine en vue de lui permettre de supporter de très hautes températures ;

3° L'obtention d'un rendement de turbine suffisamment élevé pour que la machine ne soit pas épuisée par le travail nécessaire au compresseur d'air entraîné par la turbine.

La fig. 1 fait voir comment ces différents points peuvent être résolus.

Les avantages que présente cette solution seront :

1° Combustion parfaite de n'importe quel combustible étant donné la haute température à laquelle elle a lieu ;

2° Utilisation de l'énergie cédée par des gaz se détendant d'une température initiale très élevée de 1800° C.

3° Utilisation presque totale des chaleurs perdues à l'échappement des gaz encore très chauds et perdues par rayonnement.

Ses désavantages seront :

1° Mauvais rendement des turbines en général;

2° Importance du travail absorbé par le compresseur.

En résumé :

Cycle thermodynamique excellent et mauvais moyens de réalisation.



Nous allons traiter un exemple particulier pour nous rendre compte de la valeur de ce cycle en lui appliquant les coefficients relevés sur une machine d'essai qui fonctionne depuis deux ans dans les usines de la Société des turbomoteurs à combustion (systèmes R. Armengaud et C. Lemale) à Saint-Denis (1).



La puissance de la machine peut être quelconque si nous rapportons nos chiffres au travail disponible sur l'arbre augmenté des pertes par frottement, c'est-à-dire à la puissance relevée au diagramme dans les moteurs à piston ; à ce que nous appellerons la puissance indiquée.

Le nombre de tours peut également rester indéterminé puisqu'il se réduit à la détermination d'un diamètre pour une vitesse périphérique donnée ; nous verrons plus loin les conditions que le rendement impose dans le choix de cette vitesse.

La puissance pouvant être quelconque, raisonnons sur la turbine unité, celle qui consommerait 1 kg. de gaz en l'unité de temps et évaluons l'énergie en unités caloriques.

On sait (1) que pour brûler complétement 1 kg. de pétrole, il faut théoriquement 15 kg. d'air, en admettant 20 % d'air en excès : 18 kg. d'air. Donc 1 kg. de gaz renferme 1/19 kg. de pétrole équivalent à : $\frac{11.000}{19} \backsim 590$ cal. (2), 11.000 étant le pouvoir calorifique du kg. de pétrole.

Les résultats de la combustion contiendront :

61	%	d'azote ;
16.5	%	d'acide carbonique ;
6.7	%	de vapeur d'eau ;
15.8	%	d'air.

La chaleur spécifique à pression constante de ce mélange gazeux sera :

$$C_p = 0.259 + 0.00005\,t$$

et la constante de Regnault $R = 29.2$.

Le nombre de calories contenues à t^o dans 1 kg. de gaz brûlé étant égal à $\int_0^t C_p dt$ est exprimé par la relation :

$$Q = 0.259\,t + 0.000025\,t^2. \qquad (1)$$

En admettant 10 % de pertes par rayonnement, etc, dans la chambre : la température de combustion s'obtiendra par l'égalité :

$$590 - 59 = 0.259\,t_1 + 0.000025\,t_1^2$$

(1) Voir *Éclairage Électrique*, n° 46, 12 Novembre 1904.

(2) Le signe $\backsim$ veut dire « approximativement ».

***

d'où :

$$t_1 = 1750° \text{C}.$$

ou bien :

$$T_1 = 1750 + 273 = 2023° \text{ abs.}$$

Admettons un turbomoteur fonctionnant entre 5 atm. (6 kg. abs.) en amont et 0,2 kg. (vide de 1/5) en aval. Le rapport des pressions initiales et finales sera $\frac{6}{0.2} = 30$. Les gaz en se détendant adiabatiquement de la première pression à la seconde, passent de la température T_1 à une autre T_2 donnée par l'équation.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} e^{\frac{b}{a_p}(T_1 - T_2)} \qquad (2)$$

où p_2 et T_2 sont la pression et la température d'aval, e le nombre népérien

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}, \text{ pour } T = 0 = \frac{0.245}{0.177} = 1.39 \qquad c_p = a_p + bT = 0.245 + 0.00005\, T$$

donc dans notre cas :

$$T_2 = 2023 \left(\frac{1}{30}\right)^{0.281} e^{0.205 \times 1.055} = 2023 \times 0.3845 \times 1.240 = 968$$

ou bien :

$$t_2 = 968 - 273 = 695° \text{ C}.$$

à cette température le kg. de gaz renferme encore, d'après l'équation 1)

$$0.259 \times 695 + 0.000025 \times 695^2 = 192 \text{ cal.}$$

la différence 531 — 192 = 339 cal. a été transformée en énergie cinétique pendant la détente. Cette transformation n'est cependant jamais rigoureusement adiabatique, les frottements dans la tuyère réchauffent le fluide et restreignent la chute de température utilisable ; en évaluant ces pertes à 12 %, l'énergie cinétique $\frac{mv^2}{2}$ disponible équivaudra à 300 cal.

A la sortie des tuyères à gaz nous aurons :

a) Une température donnée par la relation 1)

$$192 + 39 = 0.259\, t_0 + 0.000025\, t_0^2$$

d'où

$$t_0 = 695 + 129 = 824° \text{ C}.$$

b) Une vitesse de sortie, déduite du principe de la conservation de l'énergie :

$$\frac{1}{9.81} \cdot \frac{v^2}{2} = 300 \times 425$$

d'où

$$v = 91 . \sqrt{300} = 1575 \text{ m.}$$

En admettant, par exemple, un disque de 76 cm. de diamètre avec une seule rangée d'aubes ; à 10.000 tours par minute, sa vitesse périphérique est de 400 m. et le rendement hydraulique sera déterminé par l'expression :

$$\rho = 2 \times \frac{u}{v_1^2}(v'_1 - v'_2)$$

où u représente la vitesse périphérique

v_1 la vitesse de sortie

v'_1 et v'_2 les composantes tangentielles des vitesses absolues à l'entrée et à la sortie des aubes mesurées à l'échelle de v_1.

Avec des tuyères inclinées sous 17° et en admettant qu'en vertu des frottements dans les aubes, la vitesse relative de sortie n'est plus que les 70 % de la vitesse relative d'entrée, nous aurons :

$$\rho = 2 \cdot \frac{400}{1575} \cdot \frac{1900}{1575} = 61 \text{ o/o}$$

de sorte que des 300 cal. disponibles, le disque en transforme 183 en travail indiqué.

⁂

La turbine devant actionner son compresseur, voyons à combien de calories correspond le travail qu'il absorbera :

Pour comprimer isothermiquement 1 kg. d'air à 27° C de 0,2 à 6 kg. de pression, il faut :

$$20{,}8 \text{ Log } 30 = 20{,}8 \times 3{,}4 = \backsim 70 \text{ cal.}$$

en admettant un rendement du compresseur rotatif de 58 % par rapport à l'isotherme, pour comprimer les 18/19 du kg. d'air contenu dans le kg. de mélange il faudra :

$$\frac{70}{0.58} \cdot \frac{18}{19} = 116 \text{ cal.}$$

dont 116 — 66 = 50 cal. perdues en frottements, etc.

Par kg. de gaz resteront disponibles : 183 — 116 = 67 cal.

⁂

Déterminons la quantité de vapeur que nous pourrons obtenir avec les déchets de chaleur de la turbine à gaz.

En refroidissant les gaz d'échappement de 824° à 250°, nous leur retirerons d'après l'équation 1).

			231 — 66 = 165 cal.
Dans le compresseur nous perdons :			116 — 66 = 50 »
— la turbine	—		300 — 183 = 117 »
— la chambre	—	par rayonnemt 10 % =	59 »
			Soit 226 cal. en tout.

Admettons que 50 % de celles-ci soient encore utilisables :

Nous disposerons de : 164 + 113 = 277 cal. par kg. de gaz.

Pour produire 1 kg. de vapeur saturée à 6 kg. abs. ou 158° C., il faut :

$$607 + 0{,}3\,t = 607 + 48 = 655 \text{ cal.}$$

donc par kg. de gaz on pourra créer $\frac{277}{655} = 0{,}42$ kg. de vapeur.

Evaluons les calories cédées par cette vapeur saturée à 6 kg. et se détendant adiabatiquement jusqu'à 0,2 kg. L'énergie cinétique disponible à la fin de la détente sera l'équivalent des calories cédées par la vapeur et déterminées par l'expression bien connue :

$$H = \frac{8.4}{425}(p_1 v_1 - p_2 v_2) \qquad (3)$$

où p_1 et $v_1 = \left(\frac{1.7617}{p_1}\right)^{0.9393}$ se rapportent à l'état initial de la détente (vapeur saturée)

où p_2 et $v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{0.881}$ se rapportent à l'état final de la détente (vapeur humide).

Ces valeurs de v_1 et de v_2 étant déduites : de l'équation de la courbe de saturation de la vapeur : $pv^{1,0646} = 1.7617$ et de l'équation de la courbe de détente adiabatique $pv^{1,135} =$ const. dans notre cas particulier.

$$p_1 = 60.000 \qquad v_1 = 0.3195$$

$$p_2 = 2.000 \qquad v_2 = 6.38$$

$$H = \frac{8.4}{425}(p_1v_1 - p_2v_2) = \frac{8.4}{425} \times 6400 = 126 \text{ cal.}$$

déduisons 10 % de pertes dans la tuyère de détente, il reste 113 cal. correspondant à une vitesse de sortir de $91\sqrt{113} = 965$ m.

Par kg. de gaz le $\frac{mv^2}{2}$ disponible à la sortie des tuyères à vapeur sera équivalent à

$$113 \times 0,42 = 47 \text{ cal.}$$

Le rendement hydraulique du disque envisagé précédemment étant dans ce cas :

$$\rho = 2 \times \frac{400}{965} \times \frac{960}{965} = 82 \text{ o/o}$$

les calories transformées en travail par la vapeur seront :

$$47 \times 0.82 = 38.5 \text{ cal.}$$

***

Nous voyons donc, que des 590 cal. contenues dans 1 kg. de gaz : $66 + 38.5 = 105.5$ cal. ont été transformées en travail indiqué.

Le rendement économique est de $\frac{105.5}{590} = \backsim 18$ %.

La consommation en pétrole par cheval-heure indiqué :

$\frac{58}{0.18} = \backsim 320$ gr. car 1 cheval-heure $= 637$ cal. $= \frac{637}{11.000} = 58$ gr. de pétrole.

Ce chiffre sera légèrement amélioré par le fait que l'air ne pouvant être maintenu constamment à 27° c, pendant la compression, entrera réchauffé dans la chambre de combustion et déterminera une température supérieure à 1750° C.

Par contre le travail à vide augmentera la consommation par cheval effectif d'une quantité dépendante de la puissance de la machine.

***

La température moyenne que prendra le disque soumis aux tuyères à gaz à 824° et aux tuyères à vapeur à 65° s'obtient *grosso modo* par l'équation calorimétrique :

$$M \times c'_p(T - x) = m \times c''_p(x - t)$$

ou bien

$$1 \times 0.288(824 - x) = 0.42 \times 0.56(x - 65)$$

d'où

$$x = 480° \text{ C.}$$

pour éviter un refroidissement intérieur du disque il faudrait donc augmenter la chute de pression ou de température ; par exemple détendre de 6 à 0,15 atm.

Voyons quelles seraient les dimensions du compresseur rotatif comprimant de 0,2 à 1 et de 1 à 6 kg. Choisissons 259 m. comme vitesse périphérique des disques (correspondant

à 47,5 cm. de diamètre à 10.000 tours par minute). En admettant 72 % de rendement manométrique l'élévation de pression donnée par un disque s'obtient par la relation :

$$\text{Log}\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = 1.45 \frac{\omega^2}{2g} \frac{R^2}{29.5T} \qquad (4)$$

pour simplifier supposons qu'en passant d'un disque au suivant T reste const. et égal à 350° ats. on aura :

$$\text{Log}\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = \frac{u^2}{140.000} = 0,445$$

puisque $u = 250^m$

$$\frac{p_1}{p_2} = 1.56$$

avec 6 % de pertes de charge entre un disque et le suivant, il reste comme rapport des pressions effectives :

$$\frac{p_1}{p_2} = 1.5$$

d'où le nombre de disques x :

$$1.5^x = 30 \qquad x = \frac{1.477}{0.176} = 8,4$$

disons 9 disques donnant successivement :

0.197 — 0.296 — 0.444 — 0.666 — 1 — 1.5 — 2.25 — 3.37 — 5.1 — 7.6 kg.

La construction d'un pareil compresseur n'offre aujourd'hui plus de craintes sérieuses.

***

Pour résumer ce calcul en une image frappante, nous avons construit à l'échelle le bilan thermodynamique de cette turbine à pétrole combinée avec turbine à vapeur récupérée fig. 2.

En abcisse nous avons porté les différentes étapes de notre calcul, en ordonnées la valeur de l'énergie évaluée en calories. L'énergie introduite dans la turbine sous forme de pétrole est représentée par un courant X dont la largeur mesure l'intensité. Ce courant d'énergie se transforme dans la turbine de façon telle que la partie Y seulement peut être recueillie sous forme d'énergie mécanique.

Cette figure est assez explicite par elle-même pour qu'il n'y ait pas lieu de s'y arrêter longtemps. Elle montre en particulier très clairement l'apport en énergie dû à la vapeur. En effet, des calories disponibles CD, les calories V ont été transformées en vapeur, laquelle on abandonne la fraction VII au disque sous forme de travail. De même la turbine à gaz proprement dite ne peut utiliser que la fraction IV des calories disponibles I, ou dépensées AB le travail de compression étant déduit.

Nous voyons également que le rendement thermodynamique $\eta = \frac{II + b - d + VI}{X}$ (pour la chute de pression admise se rapprochant de celle utilisée par le moteur Diésel) devient :

$$\eta = \frac{316}{590} = 53.5 \text{ o/o}$$

et le rendement économique :

$$\rho = \frac{Y}{X} = \frac{105.5}{590} = 18 \text{ o/o} \qquad (5)$$

Ce chiffre sera certainement amélioré dans la suite. Il semble hors de doute que dans

un avenir prochain un rendement de 60 0/0 à la turbine et de 80 0/0 au compresseur, fonctionnant en partie dans le vide, puissent être atteints.

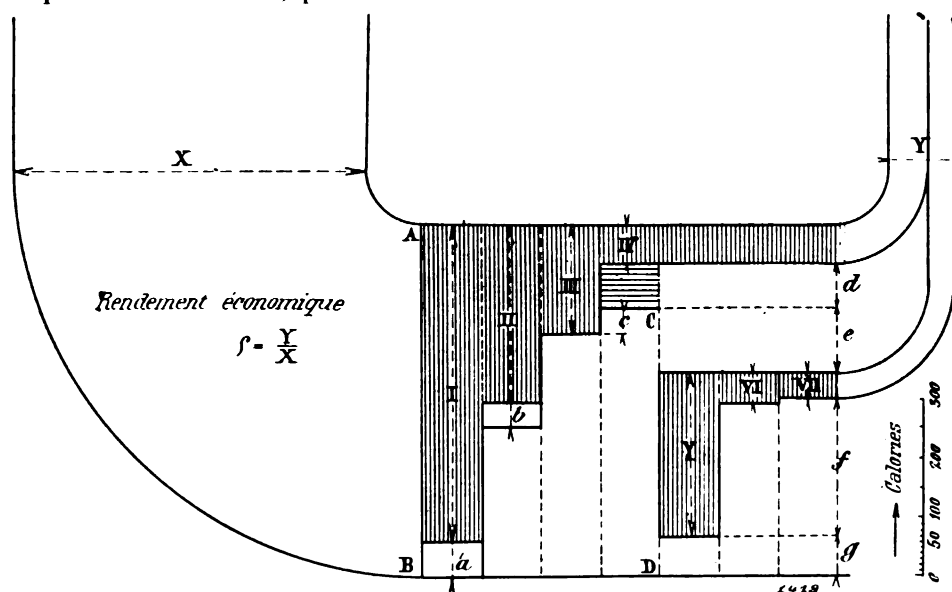


Fig. 2 [1]

Bilan thermodynamique d'une turbine à pétrole avec turbine à vapeur récupérée

I. Energie actualisée par la combustion du pétrole.
II. — cinétique disponible à la sortie des tuyères.
III. — recueillie par le disque de la turbine.
IV. — recueillie, déchet du compenseur déduit.
V. — récupérable et contenue dans la vapeur.
VI. — utilisable par détente de la vapeur.
VII. — recueillie par le disque de la turbine.
X. — apportée par le pétrole.
Y. — transformée en travail indiqué.

a. — Pertes par rayonnement de la chambre.
b. — — dans les tuyères.
c. — — dans le compresseur.
d. — Travail théorique de compression.
e. — Pertes par rayonnement de la machine.
f. — — à l'échappement par la vapeur.
g. — — à l'échappement de gaz.

Echelle : 1 m/m = 10 cal.

Dans ce cas, cette même turbine à gaz utilisant :

$$340 \times 0.6 - \frac{70}{0.8} = 116 \text{ cal.}$$

le rendement économique passera de 18 % à

$\frac{116 + 38.5}{590} = 26$ o/o et la consommation de 320 à $\frac{56}{0.26} = 220$ gr. de pétrole lourd par cheval-heure indiqué.

Ces chiffres méritent, me semble-t-il, quelque attention.

Alfred BARBEZAT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

La différence de potentiel aux bornes des générateurs à courant alternatif sous des charges variables. **Theodor Torda.** Electrotechnische Zeitschrift, 4 août.

Le moment où les machines compensées et compoundées, introduites par Heyland, supplanteront les machines à excitation séparée étant encore éloigné, la question de la chute de tension dans les alternateurs en charge conserve, à l'heure actuelle, tout son intérêt.

Nous voudrions établir une théorie générale de la variation de tension des générateurs travaillant sur une charge inductive, et indiquer une méthode

(1) Sur la fig. 2 lire V au lieu de Y.

basée sur cette théorie pour déterminer d'une façon exacte la chute de tension en partant de la caractéristique à vide et de la caractéristique en court-circuit, puis montrer l'application de cette méthode à quelques résultats d'expérience.

Comme l'on sait, le circuit magnétique d'un générateur peut être représenté par le tracé de la fig. 1. Les symboles ont la signification suivante :

A_1 est la force magnéto-motrice de l'excitation.

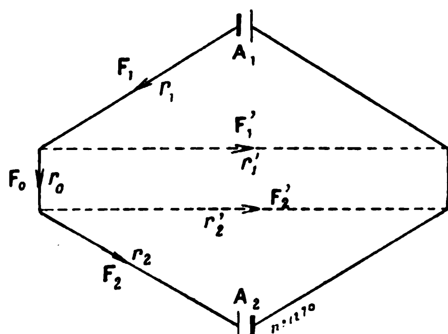


Fig. 1

r_1 la réluctance magnétique du système inducteur.

F_1 le flux dans le système inducteur.

r'_1 la réluctance magnétique du chemin suivi par les lignes de dispersion des inducteurs.

F'_1 le flux de dispersion.

r^0 la réluctance magnétique de l'entrefer.

F'_0 le flux de l'entrefer.

r'_2 la réluctance magnétique du chemin suivi par les lignes de dispersion de l'induit.

F'_2 le flux de dispersion de l'induit.

r_2 la réluctance magnétique du système induit.

F_2 le flux dans le système induit.

A_2 la force magnéto-motrice des ampère-tours induits.

L'emploi des règles de Kirchoff appliquées au circuit figuré donne 5 équations, desquelles on tire, après quelques transformations, l'expression suivante :

$$A_1^2 = (\overline{R}.\overline{F_2})^2 + (\overline{A_2}.\overline{C})^2 + 2(\overline{R}.\overline{F_2}).(A_2\overline{C}).\sin\varphi \qquad (1)$$

Cette relation est l'expression la plus générale pour l'état magnétique d'un générateur travaillant sur charge inductive ($\cos\varphi$) ; les facteurs correspondants sont surmontés d'un trait :

$\overline{F_2}$ représente le flux dans le système induit du générateur chargé.

$\overline{R}$ est la *résistance apparente* du circuit magnétique de la machine.

$\overline{C}$ est un nombre caractérisant la saturation magnétique du système inducteur.

Les expressions de R et C sont les suivantes :

$$R = \frac{r_0r_1r_2 + r'_2r_1r_2 + r_0r_1r'_2 + r'_1r_1r'_2 + r_0r'_1r_2 + r_1r'_1r_2}{r'_1\,r'_2}$$

$$R = \frac{+\, r_2r'_1r'_2 + r_0r'_1r'_2}{r'_1\,r'_2}$$

$$C = \frac{r_1r'_1 + r_1r_0 + r_1r'_2 + r_0r'_1 + r'_1r_2}{r'_1\,r'_2}$$

Les grandeurs r_0, r'_1, r'_2 sont des nombres constants, tandis que r_1 et r_2 varient avec l'état magnétique du fer. Au court-circuit, c'est-à-dire à très faible saturation, nous désignerons les valeurs de R et C par R_s et C_s.

En supposant une vitesse de rotation déterminée et une excitation déterminée A_1, nous allons examiner spécialement certains états de charge de la machine.

Dans le cas où le circuit est ouvert et où

$$A_2 = o,$$

la relation (1) donne l'équation suivante :

$$A_1 = RF_2 \qquad (2)$$

Cette relation entre A_1 et F_2 est l'expression algébrique de la caractéristique à vide. Nous appellerons réluctance apparente du générateur le rapport :

$$R = \frac{A_1}{F_2}$$

qui représente une résistance : cette réluctance apparente est représentée en fonction de l'excitation A_1 par une courbe montante dont la convexité est tournée du côté de l'axe des abscisses.

Pour le cas spécial où l'armature est court-circuitée et est parcourue par un courant A_2, la saturation du fer est si faible que F_2 peut être approximativement supposé nul. Nous obtenons alors la relation correspondant à la caractéristique en court-circuit :

$$A_{1s} = A_2C_s \qquad (3)$$

La valeur de C_s, dans les « *limites pratiques du fonctionnement* » de la machine, est constante et la courbe de court-circuit est droite. Rappelons cependant que, entre des valeurs très faibles et très fortes de l'excitation, la valeur de C_s croît sensiblement.

Pour pouvoir employer la courbe de force

électro-motrice et la caractéristique en court-circuit à la détermination de la variation de tension d'un générateur chargé, remplaçons dans l'équation (1)

$$A_2 \quad \text{par} \quad \frac{A_{1s}}{C_s}$$

et

$$\overline{R}\,\overline{F}_2 \quad \text{par} \quad \overline{A}_1$$

A_{1s} désignant l'excitation nécessaire pour produire le courant A_2 dans l'armature en court-circuit, et $\overline{A}_1$ étant égal à la force magnéto-motrice de l'excitation qui correspond à la f. e. m. équivalente à la différence de potentiel aux bornes.

Nous pouvons écrire :

$$A_1^2 = \overline{A}_1^2 + \left(A_{1s}\frac{\overline{C}}{C_s}\right)^2 + 2\overline{A}_1 A_{1s}\frac{\overline{C}}{C_s}\sin\varphi \quad (4)$$

En examinant les expressions de R et C, on voit qu'avec quelques approximations très suffisantes en pratique

$$\frac{\overline{C}}{C_s} = \left(\frac{\overline{R}}{R_s}\right)^2.$$

On obtient donc finalement l'équation

$$A_1^2 = \overline{A}_1^2 + A^2_{1s}\left(\frac{\overline{R}_2}{R_s^2}\right)^2 + 2\overline{A}_1 A_{1s}\frac{\overline{R}^2}{R_{s2}}\sin\varphi \quad (5)$$

Les exemples suivants feront comprendre facilement ces équations et montreront leur exactitude.

La fig. 2 donne les courbes caractéristiques

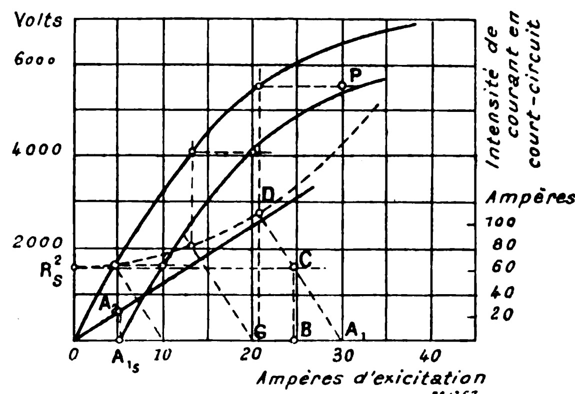


Fig. 2

d'un générateur triphasé de 235 kilovolts-ampères ; les lignes en trait plein représentent les chiffres obtenus par expérience. Cette machine produit un courant normal de 26 ampères sous une tension composée de 5200 volts à une vitesse de 429 tours par minute. La fréquence du courant est 50.

La différence de potentiel aux bornes P fut mesurée pour une charge purement inductive ($\cos\varphi = 0$) avec un courant de 26 ampères. Pour cette charge, l'état magnétique du générateur est donné par l'équation

$$A_1 = \overline{A}_1 + A_{1s}\frac{\overline{R}^2}{R_s^2} \quad (6)$$

Cette équation conduit à une méthode graphique très simple pour déterminer, pour une certaine excitation A_1 et pour un certain courant induit déwatté, l'état magnétique correspondant à la différence de potentiel aux bornes.

Avant tout, on déduit de la caractéristique à vide la courbe R^2 en portant, en fonction des intensités du courant d'excitation, les valeurs du rapport

$$\frac{A_1^2}{F_2^2} \quad \text{ou, approximativement} \quad \frac{(\text{courant d'excitation})^2}{(\text{f. e. m.})^2}$$

Prenons ensuite $A_1B = OA_{1s}$ et menons la perpendiculaire en B jusqu'à son point C de rencontre avec l'horizontale R^2_s. La ligne de jonction A_1C donne, au point de rencontre avec la courbe R^2 la valeur de $\overline{R^2}$ correspondant à la différence de potentiel aux bornes. Comme on le voit facilement, on a :

$$OA_1 = O\overline{A}_1 + OA_{1s} \cdot \frac{DC}{CB},$$

et le segment A_1P de la fig. 2 représente la différence de potentiel aux bornes de l'induit parcouru par un courant déwatté de 26 ampères. Les valeurs trouvées par les mesures directes de tension et celles déduites des deux caractéristiques présentent une très bonne concordance.

Prenons, comme second exemple pour l'application de ce diagramme, une machine à courants triphasés à montage en étoile. Sa puissance normale est 90 kilovolts-ampères sous 1900 volts (tension composée) à 300 tours par minute et 50 périodes par seconde. La caractéristique extérieure qu'indique la fig. 3 a été mesurée directement pour un courant utile de 28 ampères avec $\cos\varphi = 1$.

Pour une charge extérieure non inductive, l'équation primitive prend la forme :

$$A_1^2 = \overline{A}_1^2 + \left(A_{1s} \cdot \frac{\overline{R}^2}{R_s^2}\right)^2. \quad (7)$$

La méthode graphique qui en résulte et que représente la fig. 3 ne nécessite pas de discussion. La concordance entre les résultats obtenus et les

résultats trouvés expérimentalement est surprenante.

La fig. 4 représente la caractéristique d'un générateur triphasé de 1500 kwtts des ateliers d'Oerlikon. La machine produit un courant nor-

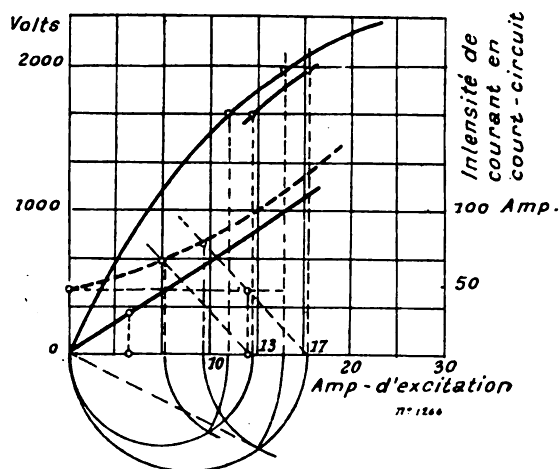


Fig. 3

mal de 156 ampères sous une différence de potentiel de 5500 volts (tension étoilée) pour une vitesse de rotation de 83 tours par minute et à 50 périodes par seconde.

Les résultats obtenus sur cette machine du

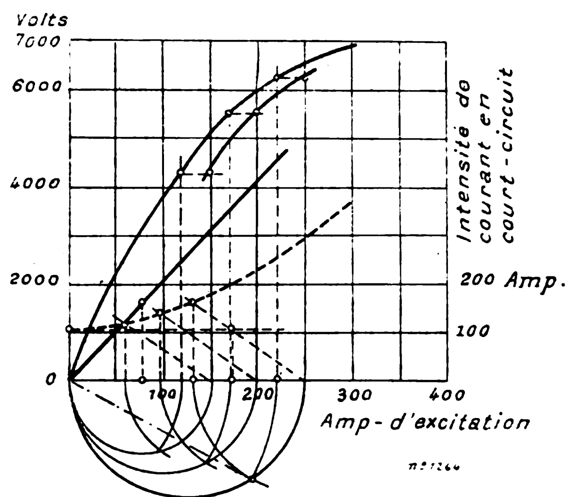


Fig. 4

type volant à pôles intérieurs sont très satisfaisants.

Il est intéressant de développer aussi cette méthode graphique dans le cas d'un générateur travaillant sur charge inductive. Pour cela, nous allons employer les courbes caractéristiques d'un gros générateur triphasé à inducteurs tournants (fig. 5). La vitesse de rotation est de 184 tours à la minute et la machine produit un courant de 175 ampères sous une différence de 6100 volts pour un $\cos\varphi = 0{,}85$: la fréquence est 46 périodes par seconde.

Dans les considérations précédentes, nous avons passé sous silence l'influence de la résistance ohmique de l'induit, le rôle des pertes dans le fer, et l'influence qu'exerce sur la chute de tension du générateur la forme de sa courbe de tension différant d'une sinusoïde. Mais, comme dans les machines modernes, tous ces facteurs

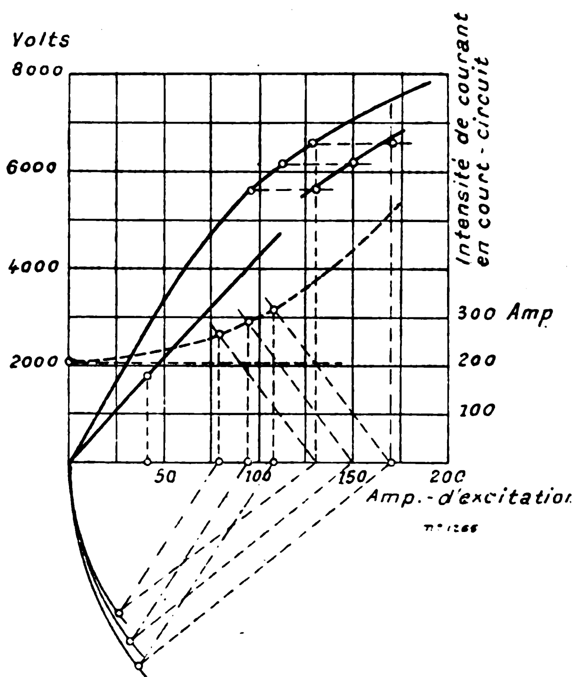


Fig. 5

sont très petits, les erreurs commises en les négligeant sont extrêmement faibles.

Notre méthode, appliquée à de nombreux exemples de machines monophasées ou polyphasées, s'est montrée suffisamment exacte pour la pratique, tandis que la méthode de Behn Eschenbourg conduit, dans la plupart des cas, à des chutes de tension trop fortes, et celle de Rothert à des chutes de tension trop faibles.

Il est intéressant de faire une rapide comparaison entre les équations qui nous ont servi de base et celles qui servent dans la méthode de Rothert.

Pour plus de simplicité, examinons le cas où la charge est purement inductive ($\cos\varphi = 0$).

* * * *

Rothert base sa règle sur

$$A_1 = \overline{A}_1 + A_{1s}$$

Dans la nouvelle méthode, nous nous appuyons sur l'équation :

$$A_1 = \overline{A}_1 + A_{1s}\frac{\overline{R}^2}{R_s^2}.$$

Or, comme l'ont montré les exemples qui précèdent, le rapport

$$\frac{\overline{R}^2}{R_s^2}$$

prend, pour la saturation correspondante à la différence de potentiel normale aux bornes, des valeurs comprises entre 1,5 et 2,5 : la méthode de Rothert ne doit donc être employée qu'avec de grandes précautions.

Pour terminer, nous allons représenter l'allure de la variation de tension et du courant d'excitation en fonction du facteur de puissance, l'induit étant parcouru, pour une différence de potentiel constante aux bornes P, par le courant normal I_n sous différents facteurs de puissance. Nous prendrons comme exemples les générateurs de 235 et de 1850 kilovolts-ampères.

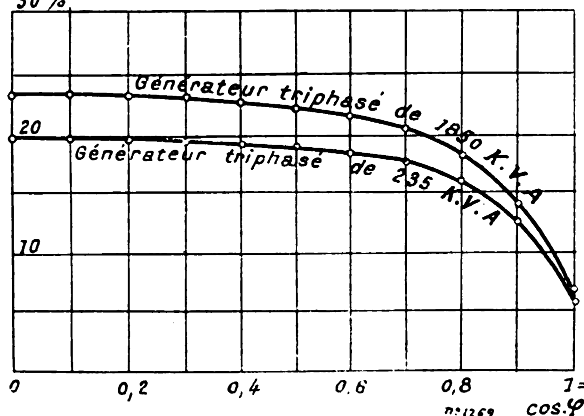


Fig. 6

Dans la fig. 6 on a porté l'élévation de tension en % en fonction du facteur de puissance. Cette élévation de tension étant définie par la relation suivante :

$$\Delta p = \frac{E - P}{P}$$

La fig. 7 représente la variation en % de l'excitation

$$\Delta_j = \frac{j_E - j_P}{j_P}$$

qu'il faut appliquer pour maintenir constante la différence de potentiel aux bornes pour le courant normal, mais avec un facteur de puissance variable. Le générateur de 235 kilovolts-ampères à grande vitesse de rotation et la machine de

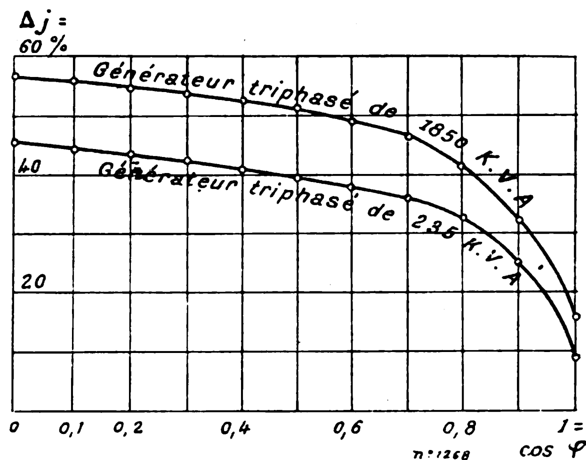


Fig. 7

1850 kilovolts-ampères à inducteurs tournants sont deux types essentiellement différents de machines modernes polyphasées et leurs données caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

50 périodes générateur.	$\frac{\overline{A}_1}{A_{1s}} = \left(\frac{I_s}{I_n}\right)$	$\frac{\overline{R}^2}{R_s^2}$	Δp %		Δj %	
			cos φ = 1	cos φ = 0	cos φ = 1	cos φ = 0
235 Kva	$\frac{1}{3.8}$	1.60	5,8	20,0	8,1	45,2
1850 Kva	$\frac{1}{2.7}$	1.52	6,3	23,5	15,2	56,8

Faisons cette remarque, intéressante pour les constructeurs, que les facteurs qui agissent sur la chute de tension d'un générateur à courants alternatifs sont entièrement envisagés par les deux rapports

$$\frac{\overline{A}_1}{A_{1s}} \quad \text{et} \quad \frac{\overline{R}^2}{R_s^2}.$$

Le premier représente la caractéristique en court-circuit, le second la courbe de force électro-motrice.

B. L.

Moteurs à vitesse variable pour voltage unique

L'application de l'électro-moteur à la commande d'un grand nombre de machines a fait naître le besoin de types spéciaux de machines pour répondre aux exigences des différents genres de travail à effectuer. Ces exigences peuvent se grouper en différentes catégories. La première comprend les machines nécessitant une vitesse constante, indépendante de la charge; un moteur Shunt normal y convient particulièrement à cause de son autoréglage de vitesse dans des limites très étroites.

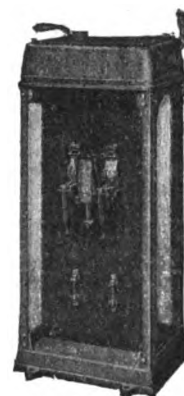
La seconde catégorie comprend les machines nécessitant de fréquents démarrages et arrêts sous charge, ne nécessitant pas de vitesse constante et dans lesquelles la commande de la machine est à tout moment sous le contrôle direct du travailleur grâce à un levier, un volant ou quelque autre dispositif de contrôle.


Fig. 1

Cette catégorie comprend notamment les grues, les élévateurs et les trains de laminoirs ; le moteur série lui convient particulièrement à cause de sa propriété d'exercer au démarrage un violent effort tournant avec un courant relativement faible, à cause aussi de sa propriété de marcher à de grandes vitesses sous de faibles charges et à de faibles vitesses sous de fortes charges, conditions qui se trouvent souvent être normales dans l'emploi de ces machines.

La troisième catégorie comprend les machines pour lesquelles on désire une vitesse approximativement constante, mais dans lesquelles la perfection de réglage qu'assure le moteur Shunt n'est pas indispensable et pour lesquelles la production soudaine de grandes fluctuations de charge ou la nécessité de démarrages fréquents ou de changement du sens de mouvement d'une masse possédant une grande inertie, exige un grand effort tournant avec un faible courant. Cette catégorie comprend notamment les presses à imprimer, les monteurs, les emporte-pièce, les cisailleuses ; un moteur compound lui convient spécialement parce qu'il combine les avantages d'un fort couple de torsion du moteur série avec l'auto-réglage approximatif du moteur Shunt.

La quatrième catégorie comprend les machines qui exigent de grandes variations de vitesse avec le maximum de puissance à la plus faible vitesse, et le minimum de puissance à la plus grande vitesse, sans toutefois que la force en H. P. se modifie aux différentes vitesses. Les tours, les alésoirs, les foreuses, les perceuses et plusieurs autres machines appartiennent à cette catégorie; pour obtenir le meilleur rendement, il est nécessaire de faire le travail avec le maximum de vitesse de taille et de choisir les tailles les plus fortes que la machine outil puisse supporter, quelle que soit la nature du travail.


Fig. 2

A cet effet, il faut que la force en H. P. du moteur ne baisse pas lorsqu'on travaille aux petites vitesses nécessitées par les grands diamètres. C'est à ce genre de travail qu'est particulièrement destiné le moteur électrique que nous allons décrire et qui a été récemment combiné et construit par la Société Commerciale électrique d'Indianapolis, aux Etats-Unis.

Ce moteur réalise les variations de vitesse au moyen d'une machine à double commutateur pourvue de deux enroulements formés de conducteurs de même section et de même capacité en ampères. Un contrôleur de vitesse permet de faire les combinaisons nécessaires de ces enroulements induits et de varier la force inductrice en vue d'obtenir les degrés intermédiaires entre les combinaisons de l'induit. Ces contrôleurs

sont simples et compacts et le passage du minimum au maximum de vitesse s'obtient rapidement et sans peine. Ils sont reversibles.

Ces contrôleurs renferment aussi le commutateur tournant pour le démarrage et le renversement de marche grâce auquel le moteur démarre, s'arrête ou change de marche pendant que le contrôleur de vitesse se place au point voulu. Le contrôleur de vitesse et le commutateur de démarrage sont combinés en un seul organe et renfermés dans une boite qui peut se placer sur la machine à actionner ou se monter sur un socle placé à côté d'elle. Il contient aussi généralement un interrupteur principal (fig. 2).

Le moteur permet de varier la vitesse de 1 à 4 en passant par 12 degrés intermédiaires et égaux. Le maximum de puissance est développé lorsque la vitesse est minima de façon que les pièces de grand diamètre puissent se tourner avec une taille aussi forte que les pièces plus petites. La force maximum en H. P. est constante à toutes les vitesses; elle ne faiblit pas aux petites vitesses qui sont précisément celles où le maximum d'effort est généralement requis. La vitesse est pratiquement constante à toutes les vitesses lorsque le contrôleur est placé en un point déterminé. Elle ne faiblit pas pour les faibles profondeurs et n'augmente pas pour la marche à vide.

Le rendement est pratiquement constant à toutes les vitesses et très élevé à toutes les charges.

Il n'y a pas de force perdue en chaleur dans les résistances. Le moteur peut s'insérer dans tout circuit normal à deux ou à trois fils à courant continu sans subir l'influence des autres moteurs alimentés par les mêmes fils et ne nécessite ni générateur, ni moteur-générateur, ni canalisation spéciale.

E. G.

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

L'établissement de transmetteurs de télégraphie sans fil. — **A. Slaby** (Suite [1]). — Electrotechnische Zeitschrift, 8 septembre.

II. — *Transmetteur à excitation indirecte.*

Dans la première partie de cette étude, nous avons examiné les méthodes que l'on peut employer pour augmenter la longueur d'onde d'un transmetteur Marconi donné sans modifier la longueur de l'antenne. On se sert pour cela de bobines intercalées, ou bien de capacités extrêmes formées par des bouteilles métalliques ou par des fils tendus horizontalement. Il est plus difficile de diminuer la longueur d'onde : ce n'est faisable qu'avec des condensateurs intercalés dans le conducteur oscillant rectiligne.

Il faut d'abord savoir si les mesures de capacité faites par la méthode du pont avec téléphone, c'est-à-dire avec des ondes de grande longueur, sont encore valables pour les oscillations rapides de la télégraphie sans fil. Des mesures précédentes ayant montré que la capacité dépend étroitement de la fréquence, la grande importance pratique de cette question nous a déterminé à reprendre ces mesures avec des moyens d'étude beaucoup plus complets.

§ 1. *Relation entre la capacité et la fréquence des oscillations.*

Pour ces recherches, nous avons employé 3 espèces de condensateurs.

1° Des condensateurs à air avec disques épais

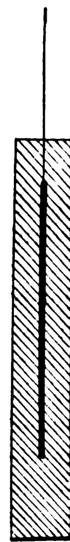


Fig. 1

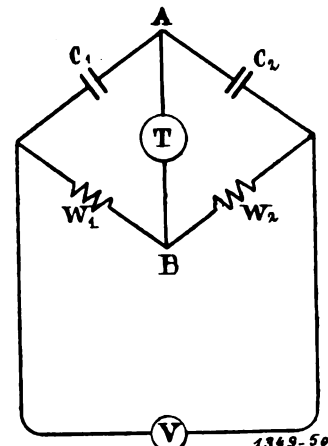


Fig. 2

en laiton de 20 cm. et de 1 mètre de diamètre, maintenus à leur écartement au moyen de tasseaux d'ébonite.

2° Des bouteilles de Leyde disposées comme d'habitude, en partie en verre ordinaire et faites au laboratoire, en partie livrées par Keyser et Schmitt.

3° Des plaques de tôle placées dans un mélange de suif, de paraffine et de résine (fig. 1) de Grisson et C°, Hambourg.

[1] Voir Ecl. Elect., n°s du 29 octobre et du 5 novembre 1904.

Ces plaques sont très commodes; on les empile simplement les unes sur les autres et on peut les séparer facilement en les chauffant un peu, au cas où le diélectrique est percé. En intercalant entre les plaques des disques d'ébonite, on peut faire varier dans de larges limites la capacité d'une pile de plaques. En outre, elles offrent l'avantage qu'il ne se produit presqu'aucune perte par radiation, car les feuilles de tôle sont complètement emprisonnées dans le diélectrique. Dans les bouteilles de Leyde au contraire, ces pertes prennent fréquemment une énorme valeur à cause des bords minces de l'armature en étain. Au point de vue du rendement d'un transmetteur de télégraphie sans fil, cela a une importance qui est bien loin d'être négligeable (1).

La mesure des capacités était faite au moyen d'un pont ordinaire à téléphone avec rhéostats à manivelle. D'habitude, on emploie une bobine à deux enroulements ; on relie le primaire, qui contient l'interrupteur, à une source de courant ayant une différence de potentiel de 1 ou 2 volts et on alimente le pont par le courant secondaire. Pour la mesure de faibles capacités jusqu'à 10 cms, il est bon d'alimenter le pont directement avec le courant primaire interrompu, en soumettant le primaire à une différence de potentiel plus élevée, 16 volts environ. Avec un peu d'expérience on arrive facilement à atteindre une exactitude de 1 %. Bien entendu, il faut toujours tenir compte des conducteurs d'amenée du courant, dans la position exacte où ils se trouvent pour la mesure.

Lorsque le pont est équilibré, c'est-à-dire lorsque le téléphone intercalé entre A et B ne fait entendre aucun son, les produits des résistances opposées sont égaux, c'est-à-dire :

$$\frac{1}{C_1\omega} W_2 = \frac{1}{C_2\omega} W_1$$

ou

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{W_1}{W_2}$$

Comme condensateurs étalons, nous employons ceux de Siemens et Halske de 0,0005 microfarad montés en série.

(1) Une grosse bobine de multiplication dans laquelle était employée une capacité de 9000 cms dans le circuit fermé pour la production des oscillations, présentait un accroissement d'effet de 30 % lorsqu'on remplaçait les bouteilles de Leyde par un condensateur Grisson de même capacité. C'était purement et simplement une question de rendement, puisque le transformateur était, dans les deux cas, soumis à la même charge.

En premier lieu, nous avons déterminé le facteur de fréquence des condensateurs Grisson. Ceux-ci furent mis en circuit avec des bobines analogues à celles dont il a été question dans la première partie, § 6, au moyen de fils de jonction aussi courts que possible, dont la self-induction était négligeable vis-à-vis de celle des bobines.

CONDENSATEUR GRISSON

$\frac{\lambda}{2}$ m	γ
10	0,54
20	0,70
30	0,78
40	0,825
50	0,85
60	0,875
70	0,89
80	0,90
90	0,91

γ est le rapport des capacités pour des ondes rapides et lentes, facteur de réduction ou facteur de fréquence.

La mesure donne une confirmation de la loi trouvée précédemment sur des bouteilles de Leyde. Dans la fig. 3, ces valeurs sont marquées

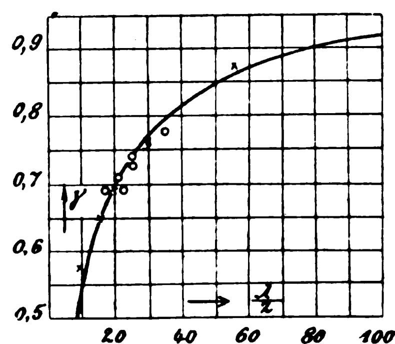


Fig. 3

d'une croix, et les précédentes d'un petit cercle. Le facteur de réduction de la capacité pour des oscillations rapides peut, pour le condensateur Grisson, être exprimé avec une approximation suffisante par la formule correspondant à la courbe :

$$\gamma = \frac{\frac{\lambda}{2}}{\frac{\lambda}{2} + 8,56}$$

où λ désigne la longueur d'onde en mètres.

Un grand condensateur à air ($d = 1\,m$) ayant un écartement de 5 cms entre armatures donna au

pont avec téléphone $C_f = 150$ cms : la mesure par les longueurs d'onde, avec l'aide de bobines de self-induction, conduisit aux résultats suivants :

CONDENSATEUR A AIR

Cf mesurée cms	L cms	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée mètres	Cf calculée cms
150	15600	23,9	148,5
	22500	28,8	149,5
	29300	33,0	150,8
	36400	36,9	151,7

La variation de Cf avec la fréquence est faible : le facteur de réduction est voisin de l'unité.

Une nouvelle bouteille de Leyde (Keyser et Schmidt) de même capacité $Cf = 150$ donna, au pont avec téléphone et à la mesure par les longueurs d'onde, les résultats suivants :

BOUTEILLE DE LEYDE (KEYSER ET SCHMIDT)

Cf mesurée cms	L cms	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée mètres	Cf calculée cms
150	15600	24,1	151,2
	22500	29,0	151,7
	29300	34,0	160,0
	36400	36,0	149,2

A part la 3e valeur de la dernière colonne, qui est évidemment erronée, la concordance entre les valeurs trouvées pour les ondes rapides et les valeurs trouvées pour les pulsations lentes est presque complète.

Pour étudier cette contradiction évidente avec les résultats précédemment obtenus sur des bouteilles de Leyde, nous avons remplacé ces dernières, dans le même circuit comprenant les mêmes bobines de self-induction, par un condensateur Grisson de capacité à peu près égale $Cf = 142,5$.

Ce condensateur, dont la capacité d'oscillations avait été déterminée exactement de la même manière que celle des bouteilles de Leyde, présentait un facteur de réduction en concordance avec la formule déduite de la série d'essais citée plus haut.

CONDENSATEUR GRISSON

Cf	L	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	Cf calculée	γ	$\frac{\frac{\lambda}{2}}{\frac{\lambda}{2} + 8,56}$
142,5	15600	21,75	123,2	0,86	0,83
	22500	25,8	120,0	0,84	0,86
	29300	29,9	124,2	0,87	0,87
	36400	35,5	125,2	0,88	0,89

Dans une autre mesure, un condensateur à air de capacité $Cf = 300$ cms fut comparé avec un condensateur Grisson : $Cf = 305$ cms.

CONDENSATEUR A AIR

Cf mesuré cms	L	$\frac{\lambda}{4}$ mesuré mètres	Cf calculé cms
300	15600	34,0	300,4
	22500	41,0	303,3
	29300	47,5	312,0
	36400	53,0	313,0

CONDENSATEUR GRISSON

Cf	L	$\frac{\lambda}{4}$ mesuré	Cf calculé	λ	$\frac{\frac{\lambda}{2}}{\frac{\lambda}{2} + 8,56}$
305	15600	32,0	266,5	0,87	0,88
	22500	38,0	260,5	0,85	0,88
	29300	45,0	280,3	0,92	0,91
	36400	50,0	278,4	0,91	0,92

Ces nouveaux essais montrent que les condensateurs Grisson possèdent en fait un facteur de réduction qui concorde, comme ordre de grandeur, avec celui que nous avions précédemment obtenu pour des bouteilles de Leyde. Une vérification des bouteilles de Leyde employées dans nos précédentes expériences montra que l'armature en feuilles d'étain avait été endommagée. La capacité n'était plus que 124,8 et 138,1 au lieu des valeurs primitives 140 et 166 ; de nouvelles mesures d'ondes ont conduit à trouver un facteur de réduction de 0,90 pour des quarts de longueur d'onde de 13 mètres en moyenne. Nos mesures de capacité actuelles ont un beaucoup plus grand degré d'exactitude ; les mesures d'ondes primitives, faites avec un micromètre à étincelles,

sont beaucoup moins certaines à cause de la charge de capacité du fil secondaire que les mesures actuelles faites avec l'échelle de multiplication. En outre, la formule de Stephan que nous avions appliquée alors à nos circuits a dû nous conduire à des valeurs trop fortes de la self-induction, à cause de l'influence de masses conductrices voisines que nous avons appris à connaître plus tard.

La conclusion que l'on peut tirer des expériences relatées est la suivante : les condensateurs à air possèdent, pour les oscillations rapides, la même capacité que pour des pulsations lentes. Au contraire, les condensateurs Grisson à diélectrique dur ont une plus faible capacité dépendant de la fréquence. Le facteur de réduction est environ 0,8 pour des quarts d'onde compris entre 15 et 20 mètres. Les condensateurs à lame de verre (bouteilles de Leyde) présentent différents phénomènes, et ont des facteurs de réduction compris entre 1 et 0,9. Nous n'avons pas déterminé si ce fait doit être attribué à l'espèce de verre ou au mode de collage employé. En tout cas, il est recommandable, pour des expériences importantes, de déterminer à chaque fois le facteur de réduction, ce qui est facile avec l'aide de la méthode précédente.

§ 2. *Le transmetteur à excitation électrique, ou transmetteur à condensateur*

Si l'on excite un transmetteur Marconi de longueur l monté en série avec un condensateur C_f dont une armature est à la terre par l'intermédiaire de l'éclateur (fig. 4), on se trouve dans des

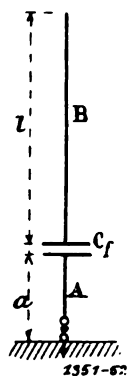


Fig. 4

conditions d'oscillations compliquées. En général, il se forme 3 ondes différentes, dont les longueurs dépendent de l, a et C_f. Nous prendrons comme exemple l'expérience suivante :

$C_f = 20$ cm. (condensateur à air)
$a = 8$ mètres (constant)
l est diminué petit à petit de 24 m. à 0.

La fig. 5 donne en A et B les valeurs des ondes mesurées pour différentes longueurs l de fil.

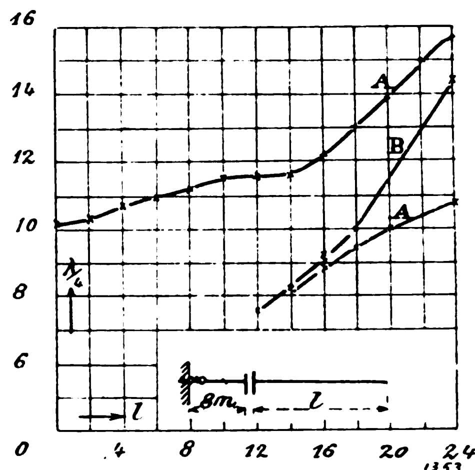


Fig. 5

Du côté A du condensateur mis à la terre il y a, depuis $l = 24$ à $l = 14$, deux longueurs d'onde à mesurer : la plus grande d'entre elles est toujours distinctement reconnaissable jusqu'à $l = 0$; la plus petite cesse de l'être au delà de $l = 14$; la première n'est mesurable qu'en A ; la seconde est également mesurable en B. Entre les deux, on trouve l'onde propre du fil (onde B) qui, au delà de $l = 24$, rejoint la plus grande onde A, et, vers le bas, rejoint la plus petite onde A. L'amplitude et la longueur d'onde varient avec a et C_f, mais l'image typique de l'allure des ondes reste toujours semblable à la fig. 5. Pour notre but spécial, qui est la réalisation d'un transmetteur à une seule onde, ce dispositif est inapplicable.

On obtient cependant des résultats plus simples et plus clairs en faisant $a = 0$, c'est-à-dire en reliant une armature du condensateur directement avec le pôle de l'éclateur mis à la terre. Dans ce cas, les ondes A disparaissent presque entièrement, et l'on obtient une onde propre de B dont la longueur est plus courte que celle de l'onde Marconi produite sans condensateur. On dispose donc ainsi d'un moyen pour diminuer, dans de certaines limites, la longueur d'onde d'un transmetteur, en intercalant des capacités en série.

Le problème peut aussi être traité d'une façon

simple par le calcul. Une étude de la vibration du fil (fig. 6) montre qu'il se forme, à une certaine distance du condensateur, un nœud de tension 0. Plus est grande la capacité du condensateur, et plus ce nœud se rapproche de lui, pour l'atteindre lorsque $C_f = \infty$.

Deux séries d'essais avec les capacités $C_f = 150$ et 300 cms (bouteilles de Leyde avec facteur de

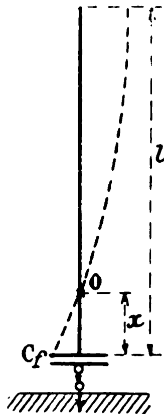


Fig. 6

réduction 1) ont donné, pour différentes longueurs de fil l, les longueurs d'onde suivantes:

l mètres	$\frac{\lambda_1}{4}$ pour $C_f = 150$ mètres	$\frac{\lambda_2}{4}$ pour $C_f = 300$ metres	x_1	x_2	$\left(\frac{\lambda_1}{4}\right)^2$	$\left(\frac{\lambda_2}{4}\right)^2$
10	9,00	9,45	1	0,55	81,0	89,4
12	10,60	11,22	1,40	0,78	112,3	126,0
14	12,15	12,97	1,84	1.03	148,0	168,5
16	13,69	14,66	2,31	1,34	187 4	215,8
18	15,17	16,33	2,83	1,67	230,3	266.0
20	16,57	18,00	3.43	2,00	275,0	324,4

En désignant par x la distance du nœud à la bouteille soit $l - \frac{\lambda}{4}$ et en portant les carrés des longueurs d'onde en fonction de x, on trouve deux droites passant par l'origine et dont les ordonnées sont dans le rapport 1 à 2 (fig. 7). Il en résulte que la longueur d'onde correspond à la formule :

$$\lambda = 2\pi \sqrt{C_f L_x} \quad ,$$

L_x désignant le coefficient de self-induction du segment x.

On peut décomposer en deux parties le phénomène oscillant et supposer le nœud de tension 0 placé à une terre idéale. Le fil oscille alors en quart d'onde de l'extrémité libre jusquà ce nœud :

$$\frac{\lambda}{4} = \sqrt{C_d L_a} = l - x \quad ,$$

et le segment x chargé de la capacité terminale C_f, en quart d'onde de même grandeur. Dans l'expérience précédente, la capacité linéaire de x peut être négligée vis-à-vis de la capacité terminale :

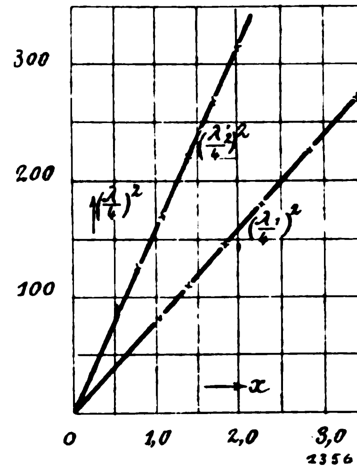


Fig. 7

s'il en était autrement, la formule exacte à employer dans le calcul serait (I § 7)

$$\frac{c}{C_f} = \frac{2\pi}{\lambda} tg \frac{2\pi x}{\lambda} \quad ,$$

où c désigne la capacité du fil par centimètre.

Si l'on ne veut pas se représenter le nœud comme étant à la terre, on peut également supposer qu'à la distance $2x$ il y a une capacité symétrique égale C_f (fig. 8) capable de remplacer le fil librement oscillant $l - 2x$. Il faut alors introduire dans le calcul, comme coefficient de self-induction, le double de la valeur précédente, et, comme capacité, la moitié de cette dernière puisque les condensateurs sont en série; la formule indiquée n'est donc pas modifiée.

Pour le calcul des longueurs d'onde d'après cette méthode, il faut connaître le coefficient de self-induction L_1 par centimètre de longueur de fil. Ce dernier doit être déduit des séries d'expériences faites.

On trouve des valeurs moyennes tout à fait concordantes.

Dans la dernière colonne du tableau sont indiquées les longueurs d'ondes calculées avec ces valeurs moyennes : elles ne présentent que des différences insignifiantes avec les valeurs mesu-

rées. Une conclusion importante pour la suite du calcul est la suivante : pour le fil rectiligne tendu pour les mesures au-dessus d'un plancher

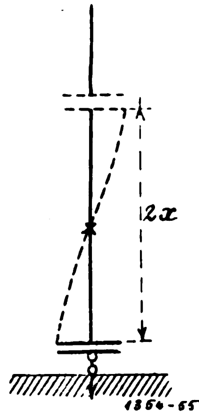


Fig. 8

en bois, on a, comme nous l'avons montré dans la première partie, § 3, la relation

$$l = \sqrt{CL}$$

l	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	x	L_1	$\frac{\lambda}{4}$ calculée
—	—	—	—	—
1000	900	100	21,90	900
1200	1060	140	21,69	1061
1400	1216	184	21,75	1218
1600	1369	231	21,92	1369
1800	1517	283	21,96	1516
2000	1657	343	22,10	1660
			21,90	

$C_f = 150$ cms

l	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	x	L_1	$\frac{\lambda}{4}$ calculée
—	—	—	—	—
1000	945	55	21,94	945
1200	1122	78	21,75	1123
1400	1297	103	22,06	1297
1600	1466	134	21,75	1467
1800	1633	167	21,57	1635
2000	1800	200	21,90	1800
			21,85	

$C_f = 300$ cms

La valeur trouvée $L_1 = 21,9$ permet de déterminer la capacité du fil par centimètre

$$C = \frac{1}{21,9} = 0,0457.$$

Des mesures faites sur un fil libre ont toujours donné des valeurs de 0,06 cm ; il y a donc là une contradiction. On peut cependant l'expliquer par une observation fréquemment faite. Lorsque l'on examine dans l'obscurité un fil soumis à la haute fréquence et chargé à l'une de ses extrémités par une capacité, la partie du fil placée à proximité du condensateur n'est pas lumineuse comme dans un fil simple ordinaire ; la partie obscure du fil s'étend de 0,50 cms à 2 mètres suivant la valeur de la capacité. Cette dernière provoque donc un écoulement plus rapide de l'électricité et, par suite, une diminution de la capacité du fil. Cette diminution se produit toujours et doit être prise en considération dans le calcul lorsque la longueur du fil n'est pas grande vis-à-vis de la capacité du condensateur, comme c'était par exemple le cas dans les expériences décrites dans la 1re partie § 7. Là les longueurs de fil x sont petites et les condensateurs relativement grands de sorte que la réduction trouvée pour la capacité du fil paraît explicable.

Les tableaux suivants indiquent le calcul et la mesure pour deux condensateurs à air de capacité 100 et 200, ainsi que pour un condensateur Grisson de 125 centimètres. Comme une petite erreur sur la valeur de $\frac{\lambda}{4}$ peut provoquer une très grosse erreur pour x, le calcul de $\frac{\lambda}{4}$ a été fait en partant de l'équation du 2e degré.

$$\frac{\lambda}{4} = \sqrt{C_f \cdot 21,9\left(l - \frac{\lambda}{4}\right)}$$

Le manque de concordance entre les valeurs trouvées par la mesure et par le calcul avec le condensateur Grisson peut être facilement attribué au fait que les plaques métalliques sont entourées des deux côtés par le diélectrique, ce qui provoque une légère augmentation de la capacité totale. On trouve des écarts beaucoup plus grands si l'on introduit dans le calcul le facteur de réduction du condensateur Grisson indiqué dans le § 1. Nous en tirons la conclusion que l'oscillation du système ne traverse pas le diélectrique intercalé entre les plaques et que le condensateur agit bien plutôt comme une capacité terminale.

Enfin, nous donnons encore une série de mesures faites avec un condensateur à air d'une capacité de 20 cms. Comme ici la distance x prend des valeurs importantes, il faut employer dans le calcul la formule exacte de la tangente.

l	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	$\frac{\lambda}{4}$ calculée	Différence en pour cent
—	—	—	—
1200	1010	1008	— 0,2
1400	1150	1150	0,0
1600	1282	1290	+ 0,6
1800	1410	1426	+ 0,1
2000	1540	1556	+ 1,0
			+ 0,5

$C_f = 100$ cms.

l	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	$\frac{\lambda}{4}$ calculée	Différence °/₀
—	—	—	—
1200	1080	1068	— 1,1
1400	1235	1246	— 0,9
1600	1393	1416	+ 1,7
1800	1545	1576	+ 2,0
2000	1700	1719	+ 1,2
			+ 0,94

$C_f = 200$ cms.

l	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée	$\frac{\lambda}{4}$ calculée	Différence en °/₀
—	—	—	—
1200	1050	1038	— 1,14
1400	1200	1188	— 1,00
1600	1350	1333	— 1,26
1800	1500	1473	— 1,80
2000	1642	1615	— 1,65
			— 1,37

$C_f = 125$ cms.

Les valeurs mesurées de $\frac{\lambda}{4}$ ont été prises sur une courbe tracée pour un grand nombre de valeurs de l.

x	$\frac{\lambda}{4}$ calculée	l	$\frac{\lambda}{4}$ mesurée
—	—	—	—
4	7,50	11,50	7,45
5	8,66	13,66	8,67
6	9,80	15,80	9,64
7	10,88	17,88	11,02
8	11,96	29,96	12,10

Cette série d'expériences justifie aussi la méthode de calcul employée.

Enfin, nous avons prouvé que la longueur d'onde d'un tel transmetteur reste invariable lorsqu'on place, à une distance $2x$ de la capacité de bouteilles, une sphère de capacité égale (fig. 9).

Un condensateur à air de 33 cms fut relié à l'éclateur mis à la terre et à un fil de 10 mètres. Le quart d'onde était 7 mètres ; on avait donc

$$x = 3 \text{ mètres}.$$

On plaça à 6 mètres du condensateur une sphère d'égale capacité, et la longueur d'onde resta la même.

Dans l'application pratique de cette méthode,

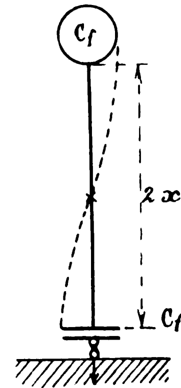


Fig. 9

pour diminuer les longueurs d'ondes, on n'a, la plupart du temps, pas affaire à des antennes simples mais à des transmetteurs de forme compliquée de grande capacité. Comme exemple, nous avons choisi une harpe de 26 mètres de longueur avec 6 fils nus parallèles de 0,8 mm de diamètre placés à 10 cms les uns des autres. Le quart d'onde de la harpe avec excitation directe était 26 mètres, et nous nous sommes posé le problème de diminuer ce quart d'onde de 40, 30, 20 et 10°/₀ en intercalant des condensateurs.

La capacité du fil n'était pas négligeable vis-à-vis de celle du condensateur ; il fallait donc, pour le calcul de ce dernier, avoir recours à la formule exacte

$$\frac{cx}{C_f} = \frac{2\pi x}{\lambda} \operatorname{tg} \frac{2\pi x}{\lambda}$$

c étant la capacité par centimètre de la partie x de la harpe reliée au condensateur.

Pour un simple fil, on a, comme nous l'avons vu :

$$c_1 = 0{,}0457$$

Le facteur de désélectrisation pour 6 fils placés à 10 cms les uns des autres est, d'après la 1e partie § 4.

$$\alpha = 0{,}45$$

d'où

$$c = 6 .\ 0{,}0475 .\ 0{,}45 = 0{,}123$$

Comme la valeur c est sûrement modifiée par la grandeur du condensateur, elle ne peut servir que pour un calcul approximatif. Il était intéressant de pouvoir déterminer, dans le cas présent, la vraie valeur de c.

Pour cela, la harpe fut excitée avec des condensateurs à air de valeur exactement connue ; la longueur d'onde fut mesurée chaque fois, et la grandeur de c fut calculée au moyen de la formule de la tangente. Le résultat est le suivant :

C_f cms.	$\frac{\lambda}{4}$ mètres	c
—	—	—
640	22,25	0,1372
545	22,00	0,1264
460	21,90	0,1114
390	21,70	0,0996
332	21,30	0,0980
270	20,50	0,1016
243	20,00	0,1063
202	29,30	0,1081
185	19,30	0,1083
		0,1110

On voit que les valeurs oscillent entre 0,14 et 0,10 et concordent comme ordre de grandeur avec la valeur prédéterminée 0,123. Pour les calculs plus complets, il faudrait prendre la valeur moyenne $c = 0{,}111$.

Le tableau suivant contient la diminution de longueur d'onde obtenue ν %, la longueur d'onde que l'on voulait obtenir, et la capacité du condensateur nécessaire calculée au moyen de la formule de la tangente.

$\frac{\lambda'}{4}$ se rapporte au montage avec condensateurs à air.

$\frac{\lambda''}{4}$ se rapporte au montage avec condensateurs Grisson.

ν %	$\frac{\lambda}{4}$ cherchée	C_f	$\frac{\lambda'}{4}$ mesurée	$\frac{\lambda''}{4}$ mesurée
—	—	—	—	—
40	15,6	57,6	15,9	16,0
30	18,2	152,0	18,3	19,0
20	20,8	322,0	21,1	21,5
10	23,4	832,0	—	25,7

On voit, ici encore, que les condensateurs Grisson donnent des valeurs un peu plus élevées.

D'autres mesures ont montré que des mêmes diminutions de longueur d'onde peuvent être obtenues aussi bien avec des batteries de bouteilles de Leyde.

§ 3. *Le transmetteur à excitation magnétique ou transmetteur à transformateur.*

L'excitation indirecte du transmetteur Marconi, au moyen d'un transformateur Tesla dont l'enroulement primaire est alimenté par du courant à haute fréquence, a fait l'objet de nombreuses publications. La théorie et la pratique se sont trouvées en concordance pour montrer qu'un tel transmetteur n'est jamais monotonique. Si

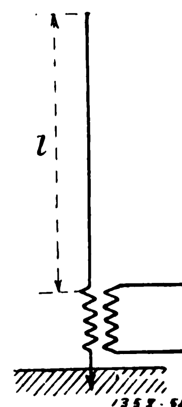


Fig. 10

la fréquence du courant primaire est soigneusement amenée à être égale à celle de l'onde propre du fil transmetteur, l'accouplement donne toujours lieu à deux ondes dont la fréquence et l'amplitude sont très différentes, aussi bien l'une de l'autre que de l'onde fondamentale primitive. La raison en est que l'accouplement modifie la charge des systèmes simples.

On peut rendre le transmetteur monotonique en ayant recours à l'accouplement lâche (ou imparfait) c'est-à-dire, en d'autres mots, en prenant un transformateur dont la dispersion est très considérable.

Le rendement de la transmission est minimum avec ce dispositif et le transmetteur est inutilisable pour les communications à grande distance.

Cette étude ayant pour but la réalisation de transmetteurs monotoniques, le transmetteur à transformateur est sans intérêt pour nous.

Il y a aussi une seconde raison pour laquelle le transmetteur à transformateur a peu de valeur. Comme nous l'avons montré dans la première partie, § 6, le facteur de forme du courant

dans le fil transmetteur est fortement aplati par la bobine, et la meilleure partie de l'énergie oscillatoire est perdue dans la bobine et inutilisée. L'avantage d'un amortissement moindre, que l'on attribue au transmetteur à transformateur, n'a rien à voir avec la transformation et est aussi bien obtenu d'une façon plus active avec des transmetteurs monotoniques, comme nous le montrerons dans le chapitre III de cette étude.

R. V.

Nouveau poste d'essai

Le poste d'essai, dont nous entretenons aujourd'hui le lecteur, est spécialement destiné à la mesure des isolements.

Pour une tension aux bornes de 100 volts, il

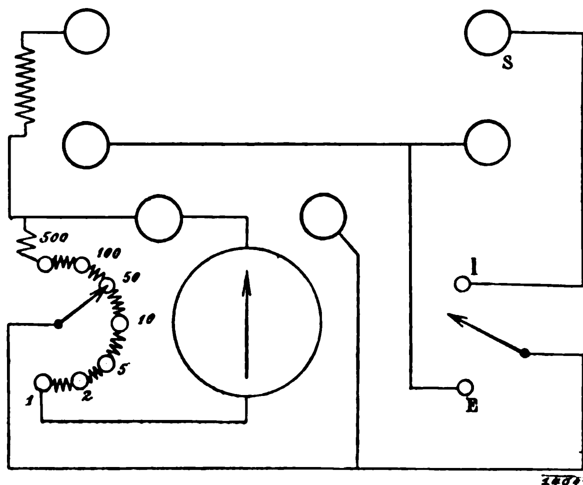


Fig. 1

donne directement les résistances en mégohms ; on peut l'employer également pour des tensions plus élevées, mais il est nécessaire alors de multiplier les valeurs trouvées par le rapport entre la tension employée et la tension normale de 100 volts.

L'échelle du galvanomètre n'est toutefois graduée qu'entre 2 et 100 mégohms ; pour des résistances inférieures à 2 mégohms, mais supérieures à 10.000 ohms, on utilise l'appareil convenablement shunté et l'on multiplie la valeur lue par l'inverse du pouvoir multiplicateur du shunt.

Indépendamment de l'échelle des mégohms, l'appareil est pourvu d'une seconde graduation, comprenant 55 divisions de part et d'autre du zéro, chaque division correspondant à 1 micro-ampère.

Le poste comprend un galvanomètre, des shunts et une résistance additionnelle ; toutes ces parties, soigneusement isolées, sont enfermées, hermétiquement, dans une caisse absolument close, en bois de teck, avec une menotte de cuir ; aucun calage préalable n'est nécessaire ; la manœuvre des résistances de shunt se fait au moyen d'une clef rotative placée à la gauche de la caisse, dont la disposition générale est, au surplus, représentée schématiquement à la figure.

Le poste comporte six bornes de pression et, indépendamment de celui des shunts, un petit commutateur à deux directions.

Deux premières bornes, placées dans le voisinage du cadran, ne sont employées que dans les cas exceptionnels de basse tension, mesures au pont de Wheatstone, etc; elles sont en communication directe avec le galvanomètre et les résistances.

Une troisième est reliée au shunt et au galvanomètre à la fois ; la quatrième et la cinquième sont connectées, l'une est la borne de terre qui est reliée au plot « terre » (E) du commutateur ; la dernière borne est celle « d'isolement » (S) ; elle est en connexion avec le plot I du commutateur.

Ces explications suffiront pour faire connaître la disposition et le mode d'usage de l'appareil, dont nous nous bornerons à décrire sommairement la partie essentielle, le galvanomètre.

Celui-ci est pourvu, comme nous l'avons vu, d'un cadran à deux échelles. La graduation est établie par les procédés habituels rapides ; au besoin, si l'on voulait avoir une exactitude plus grande, on pourrait procéder à un étalonnage précis ; mais celui-ci n'est généralement pas indispensable.

Le type de galvanomètre employé est à bobine mobile ; l'enroulement possède une résistance de 60 ohms ; on peut le shunter au 2ᵉ, au 5ᵉ, au 10ᵉ, au 50ᵉ, au 100ᵉ, ou encore au 500ᵉ ; le montage de la bobine est effectué comme dans le type Paul à pivot unique. La bobine est suspendue par son centre sur un pivot qui traverse, au centre, le noyau sphérique, de telle sorte que les lectures peuvent se faire dans une position quelconque, du moins sans qu'il soit besoin de pourvoir l'appareil de vis calantes. En outre, en fermant le couvercle mobile de la boîte, on provoque le fonctionnement d'un levier qui soulève la bobine de son pivot ; celle-ci se trouve dès lors immobilisée et le galvanomètre ne peut se ressentir des secousses qui lui sont imprimées pendant le transport,

la mise en place, etc. La bobine mobile porte un index très mobile, mais dont les oscillations sont, toutefois, amorties ; en enlevant le couvercle de verre du galvanomètre, on a accès à une tête filetée à l'aide de laquelle on peut remettre l'aiguille au zéro quand sa position s'est modifiée.

Quel que soit le shunt employé, la résistance intérieure du galvanomètre reste, à moins de 1/100 près, égale à 20.000 ohms, valeur qu'on a jugé devoir imposer à l'instrument.

Cette constance est obtenue grâce à la disposition et à la valeur des shunts ; ceux-ci ont été choisis assez nombreux afin, notamment, que l'on puisse toujours ramener la déviation à une grandeur raisonnable ; on ne peut éviter, on le sait, l'imperfection des lectures quand les déviations se rapprochent des extrémités de l'échelle ; il convient donc que le galvanomètre soit pourvu de shunts convenablement échelonnés ; c'est ce qui a été fait.

Comme on peut s'en rendre compte par ce qui précède, le poste d'essai est d'un usage facile et ne nécessite pour ainsi dire aucune manœuvre ; on peut l'employer, soit sur une canalisation, soit au moyen d'une batterie d'accumulateurs convenable, et entre des limites de tension assez larges.

Dans un autre type, destiné à des essais plus précis (ayant notamment pour but la localisation des dérangements ou défauts), le galvanomètre que nous avons décrit, est remplacé par un autre à bobine suspendue, également rapide et à oscillations amorties, mais possédant une sensibilité plus grande.

D'autres précautions interviennent, d'ailleurs, pour augmenter la sensibilité et l'exactitude. C'est ainsi que, bien qu'on ait renoncé à l'usage des vis calantes habituelles, on a pourvu l'appareil d'un système de calage qui permet de lui donner l'horizontalité que rend indispensable le mode de suspension de l'équipage mobile. Ce dispositif de réglage consiste à placer l'appareil sur deux forts ressorts et à caler le système au moyen de deux vis, calage qui s'effectue avec le concours d'un niveau.

Le mode de suspension de la bobine, dont la résistance s'élève à 250 ohms, est intéressant ; il comporte des ressorts protecteurs qui permettent de remplacer rapidement et de régler le support en cas de rupture.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce 2e type qui, en dehors des particularités que nous venons de voir, ne se distingue du premier que par ses échelles, dont les degrés ont une valeur différente, par la grandeur de la résistance intérieure (100.000 ohms) et par celle des bobines de shunt, qui doivent nécessairement se différencier de celles du type précédent, l'enroulement du galvanomètre proprement dit étant lui-même plus résistant (la résistance totale des shunts est de 2.500 ohms).

E. G.

ÉLECTROMÉTALLURGIE

L'état actuel de l'électrométallurgie du fer et de l'acier. — **Résumé d'après The Iron and Coal Trade Review.**

Parmi les questions, qui passionnent le plus l'esprit des ingénieurs, l'application du courant électrique à la métallurgie du fer et de l'acier se place, sans conteste, au premier rang.

Le but, poursuivi avec énergie, est la combinaison d'un four et d'un procédé d'extraction, permettant le traitement du minerai sans l'intervention de charbon, en dehors, bien entendu, de celui exigé pour la réduction de l'oxyde ferrique.

Il faudrait en arriver à pouvoir produire directement, en une ou deux opérations, soit l'acier ordinaire, soit le fer chromé, soit le ferro-manganèse, etc.

La solution est loin d'être aisée à atteindre ; l'énergie électrique est fort coûteuse ; lors même qu'on dispose d'une force motrice naturelle, d'une chute d'eau, il faut recourir à des appareils d'un prix fort élevé. L'emploi de l'électricité comme agent de chauffage n'est donc pas de nature, dans les conditions actuelles, à faire réaliser économie ; il ne pourrait, semble-t-il, présenter d'avantages que si la qualité des alliages obtenus était d'une supériorité bien marquée sur ceux que donnent les hauts fourneaux actuels.

Lorsque les gaz résultant de la réduction sont bien utilisés, les fours employés aujourd'hui donnent, en effet, d'excellents résultats au point de vue de l'économie dans la consommation du combustible. La substitution de l'électricité au coke ou au charbon serait, au surplus, d'ailleurs, d'autant plus coûteuse qu'il s'agit de traiter des masses considérables.

Cette circonstance fait que l'arc voltaïque (qui constituerait, pour d'autres applications, le moyen de chauffage le plus pratique) ne peut être employé que moyennant un broyage et un

mélange intime du minerai, du coke et du fondant ; c'est là un inconvénient grave, de nature à augmenter considérablement le prix de revient.

Cet inconvénient n'existe pas dans les fours, d'une disposition analogue à ceux jusqu'ici en usage, où le courant électrique agit par son effet Joule : comme dans le haut fourneau, les minéraux bruts sont chargés tels quels ; c'est à la pesanteur qu'incombe le soin de les mélanger, de façon moins imparfaite, à l'état pâteux.

On trouvera plus loin quelques renseignements au sujet des tentatives qui ont été faites en ces dernières années dans les deux sens indiqués plus haut.

Avant d'aller plus loin, il paraît utile, à l'appui de ce qui a été dit relativement à la supériorité présente du charbon sur l'électricité, de comparer les rendements des deux agents en question au point de vue calorifique. On peut admettre que la combustion d'un kilogramme de charbon de qualité courante produit 7.500 calories. Les 20 $^0/_0$ environ de cette quantité de chaleur, soit 1.500 cal., sont utilisables. D'autre part, 1 cheval-heure équivaut à 635.3 calories ; même en admettant un rendement de 80 $^0/_0$, on n'arrive qu'au chiffre de 508.24 calories. Il suffit de tenir compte de la valeur du charbon et du prix de revient du cheval-heure d'électricité pour conclure que, si des raisons spéciales ne font pas préférer, pour le chauffage, l'électricité au charbon, ce dernier l'emporte de haut ; d'une façon générale, ce ne serait que dans les régions où le charbon coûte cher et où les chutes d'eau abondent que l'on pourrait avantageusement avoir recours à l'électricité ; encore faudrait-il, ainsi que nous l'avons rappelé déjà, que le métal obtenu (puisque nous nous plaçons au point de vue de la métallurgie) fût d'une valeur exceptionnelle.

Et, remarquons-le bien, les chiffres cités sont choisis parmi les plus favorables à l'électricité.

Celle-ci ne paraît donc pas devoir bientôt détrôner, dans la pratique courante du travail du fer, les méthodes de fabrication que des recherches longues et laborieuses ont amené au haut degré de perfectionnement que nous leur connaissons.

Les différents essais qui sont relatés dans le présent article n'ont, en somme, jusqu'à présent du moins, qu'une importance assez relative. Les appareils, les méthodes doivent être approfondis et améliorés notablement encore.

La question en est toujours à sa première phase ; elle n'est guère sortie de la période d'expérimentation ; cependant, les préliminaires ne manquent pas d'intérêt.

I. — Procédé Stassano (1898).

Le procédé de M. Stassano a été étudié en détail par M. Goldschmidt, de Essen, dont la haute compétence est bien connue et à qui sont dues, à ce sujet, des notes très complètes.

Le procédé en question date de 1898 ; il n'a été appliqué qu'à des minerais riches, d'Italie, la magnétite, l'hématite rouge et la limonite.

M. Stassano, dont les établissements sont installés à Darfo (Italie), utilise, comme force

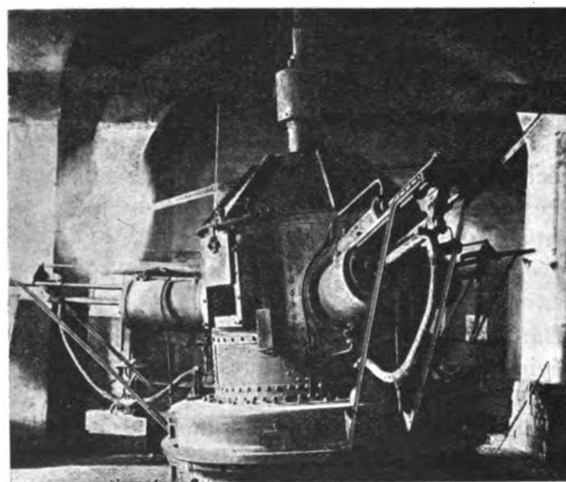


Fig. 1

motrice, l'énergie hydraulique, ce qui diminue notablement les frais d'exploitation. C'est ainsi que, malgré la puissance consommée, qui s'élève à 3800 ou 4000 chevaux-heure par tonne, le prix de revient, pour cette même quantité, n'est que de 112 fr. 40 c.

Des soins tout particuliers sont apportés à l'analyse des mélanges, en vue d'assurer une réduction complète du minerai. Les matières sont, par exemple, employées dans les proportions suivantes :

100 parties (en poids) de minerai,
23 parties de houille,
12.5 parties de fondant,

pour des composés constitués comme suit :

Minerai :	Sesquioxyde de fer......	93.02
	Magnésie, chaux.........	0.5
	Protoxyde de manganèse.	0.619

	Silice	3.79
	Soufre	0.058
	Phosphore	0.056
	Eau	1.72
Charbon :	Carbone	90.42
	Cendres	3.88
	Eau	5.70
Fondant :	Chaux	51.21
	Magnésie	3.11
	Alumine / Sesquioxyde de fer	0.50
	Silice / Anhydride carbonique	43.43

Les minerais traités sont : la magnétite, qui se compose d'oxyde ferrique, de protoxyde de manganèse, de silice, d'alumine, de chaux, de magnésie, de soufre et de phosphore ; l'hématite rouge, plus riche que la magnétite en sesquioxyde, mais contenant aussi plus de soufre et de phosphore ; la limonite, qui contient plus de phosphore encore, avec une forte proportion de matières étrangères.

L'installation de M. Stassano se compose de deux fours : le plus petit, spécialement destiné aux essais, est chauffé par un courant de 1000 A, sous 80 volts ; le plus grand est alimenté par un courant de 2.000 ampères et de 170 volts. Ces fours ne diffèrent pas en principe de celui de M. Moissan.

La marche de l'opération, au petit four, est la suivante.

Les matières premières, après avoir fait l'objet d'une analyse très soignée, sont mélangées dans les proportions convenables. Sans négliger de tenir compte des bases existant déjà dans le minerai, on ajoute à celui-ci la quantité de carbonate de calcium strictement nécessaire pour obtenir une scorie fusible et pouvoir expulser la silice. On ajoute un peu de goudron et on fait des briquettes, précaution qui pourrait à la rigueur, être supprimée.

On charge dans le four les briquettes fabriquées et l'on envoie le courant ; l'arc jaillit entre des électrodes de charbon ; intensité et voltages sont réglés de façon appropriée : au bout de 20 minutes, le courant atteint 800 ampères et 80 volts, valeurs qui sont maintenues pendant 20 minutes ; après quoi, on porte, le courant pendant une demi-heure, à 1000 ampères et 100 volts ; puis, durant 30 minutes encore, à 600 ampères et 70 volts ; enfin, on termine par 1000 ampères et 100 volts ; (il s'agit d'une opération s'effectuant au petit four, (comme nous l'avons déjà dit). Le travail dure deux heures.

L'énergie totale fournie absorbée est

$$\frac{7.290.000 \times 08}{60} = 972.000 \text{ watt-h.} = \frac{972.000}{735} = 132.24 \text{ ch.-v.-h.,}$$

ce qui correspond à 84.012.072 calories. Or, la quantité de chaleur nécessaire, que l'on peut calculer aisément, s'élève à 53.524.805 calories, le rendement calorifique est donc de 61.33 %.

Le nombre des calories nécessaire a été calculé d'après les bases indiquées ci-après :

La décomposition de 1 gr. de sesquioxyde de fer exige	192.000 cal.
Pour convertir 1 kg. d'eau à 100° en vapeur, il faut	637.000 »
Pour élever de 1° la température de 1 kg. de vapeur d'eau à 100°, il faut	0.480 »
La calcination de 1 kg. de fondant demande	425.0 »
Enfin, il faut pour élever de 1° la température de 1 gr. d'anhydride carbonique	0.016 »
Et pour élever de 1° la température de 1 gr. d'oxyde de carbone	0.0068 »
Fondre 1 kg. de fer	350.000 »
Fondre 1 kg. de scorie	600.000 »

D'autre part, la combustion de 1 gr. de charbon et sa transformation en oxyde de carbone, correspondent à la mise en liberté d'une quantité de chaleur équivalant à 2.175.000.

D'après M. Stassano, le prix de fabrication d'une tonne de fer s'établit comme suit :

1.6 tonne de minerai à	12 sh.	la tonne :	19.20 sh.
Broyage	2.4	—	3.84 —
450 livres de fondant	4	—	0.80 —
550 livres de coke	36	—	9.00 —
Broyage	1.6	—	0.40 —
420 livres de goudron	56	—	10.64 —
Mélange de la charge	2.4	—	5.40 —
Electrodes			2.88 —
Entretien			9.60 —
Salaires			4.80 —
Outils			2.40 —
Puissance électrique 4000 ch.-h. à raison de			18.24 —
Frais généraux			2.40
Total			89.60 sh.

ce qui équivaut à 112 francs.

Mais il est à remarquer que dans cette évaluation, certains points sont assez douteux. Les frais généraux, notamment, paraissent devoir être dépassés.

Afin de mieux utiliser l'énergie disponible, M. Stassano propose de disposer, dans un four plus long, plusieurs paires de charbon ; la température n'est pas constante pendant toute la durée de l'opération ; on pourrait, grâce à la disposition qui vient d'être envisagée, fermer le courant sur l'une des paires quand il est coupé sur d'autres, de façon à régulariser la consommation.

Les produits qu'obtient M. Stassano se rapprochent beaucoup, de par leur composition, des variétés que donnent les fours, notamment à poitrine ouverte.

Evidemment, le procédé pourrait s'appliquer à la transformation en acier de lingots de fer : la dépense serait, naturellement, moindre.

Voici, d'après M. Goldschmidt, les résultats en pourcentages de l'analyse de différents échantillons.

Carbone........	0.04	0.04	0.17	0.09	0 77
Manganèse......	0.05	0.12	0.07	0.18	0.65
Silicium........	—	—	traces	traces	—
Phosphore.... .	—	—	0.029	—	—
Soufre.........	—	—	0.05	—	0.04

Un échantillon de fer chromé contenait 1.51 % de carbone, 0.26 % de manganèse, 1.22 % de chrome.

II. — Procédé Héroult (1901)

Dès 1900, M. Héroult livrait à une Société du Creusot, une quantité d'acier, d'un poids de 8 tonnes environ, obtenue par l'électricité, aux usinés de Froges, en France.

Le procédé de M. Héroult s'est développé depuis cette époque, bien qu'il ne puisse encore, toutefois, remplacer les procédés anciens.

M. Héroult a exposé lui-même la façon dont s'effectue le travail.

Une charge de déchets de fer, mélangés ou non de lingots, est fondue dans le four ou bien y est introduite à l'état pâteux ; la condition la plus importante est que le métal en fusion soit débarrassé de la scorie ; on le recouvre alors d'une scorie artificielle et on le soumet à l'action du courant, qui en élève fortement la température. Aucune flamme, aucun agent oxydant n'intervient donc. Ce fait permet, ajoute M. Héroult, d'expulser, en faisant écouler la scorie pâteuse, toutes les impuretés du métal, de telle sorte qu'après désoxydation complète, au moyen du carbone notamment, on obtient un acier « qui détient le record de la pureté ».

Ce produit est fort apprécié, particulièrement en Angleterre, paraît-il, pour la confection d'outils.

Le four utilisé par M. Héroult est à deux arcs électriques, produits par un courant alternatif de 60 volts et 4000 ampères. L'usure des électrodes est négligeable.

Plusieurs charges, de 3 tonnes, en moyenne, peuvent être effectuées par jour ; la production, pour un espace de vingt-quatre heures, atteint le chiffre de 6 à 7 tonnes, quand on opère sur le métal froid, c'est-à-dire quand tout le travail est exécuté électriquement.

La quantité totale d'acier produite jusqu'ici se monte à plus de quinze mille tonnes, sans même y comprendre le métal fabriqué pendant les premiers essais.

Le procédé Héroult, au point de vue technique, est l'un des plus remarquables ; il croîtra sans aucun doute en importance quand sera en plein fonctionnement le vaste établissement fondé en Suède qui pourra donner, si, du moins, les prévisions se réalisent, 150 tonnes d'acier toutes les vingt-quatre heures, avec un seul four de 600 ch.-h.

Cette usine sera établie entre les stations de Graubergsaal et Kortfors, sur la ligne du chemin de fer Koalskoga.

On peut rapprocher de la méthode de M. Héroult, au point de vue de la conception théorique, celle de M. Kjellin qui est également très intéressante et dont il sera dit quelques mots à la fin de cette note.

III. — Procédé Keller (1901)

Le four de M. Keller comprend deux chambres superposées. Le traitement du minerai comporte deux opérations, à la différence de ce qui se fait dans les procédés précédents. Dans la partie supérieure du fourneau, le minerai, en contact immédiat des électrodes, est fondu et coulé ensuite en lingots. Dans la partie inférieure, le métal pâteux est affiné et décarburé par l'addition de minerais, riblons, fondants. La masse n'est pas mise en contact direct des électrodes. Une ou plusieurs paires d'électrodes

de charbon sont disposées dans le haut, le courant traversant la scorie et le métal en fusion. Il se produit un abondant dégagement de gaz, d'oxyde de carbone, notamment, que l'on pourrait utiliser soit pour aider à l'affinage, soit pour chauffer le minerai à traiter.

La méthode en question est appliquée à Kerroux (France), siège des usines de la société Keller, Leleux et Cie. Les frais seraient, à peu de chose près, les mêmes que ceux qu'indique M. Héroult.

Evidemment, s'il y avait un avantage à opérer de la sorte, on pourrait préparer le fer par tout autre moyen que celui utilisé et supprimer, par conséquent, le foyer supérieur du four.

M. Keller estime que le prix de la tonne d'acier s'élève à 100 francs approximativement, l'énergie consommée étant de 3.800. Cette évaluation suppose l'emploi de minerais peu coûteux et la possibilité d'avoir recours à une force naturelle pour la production de l'électricité.

IV. — Procédé Harmet (1901)

Nous n'insisterons pas sur ce procédé qui semble peu se distinguer du précédent et de celui du Dr Héroult, qui lui est antérieur, au surplus.

V. — Procédé Schneider (1901)

Les renseignements manquent au sujet de la méthode Schneider. Le four ne comporte pas d'électrodes de charbon.

VI. — Procédé Ruthenberg (1901)

Deux cylindres de bronze, refroidis par une circulation d'eau, et recouverts de plaques de charbon, tournent, en sens inverse l'un de l'autre, dans le voisinage des pôles d'un grand aimant à fer de cheval. Cet aimant est suspendu horizontalement de façon à ce que ses pôles soient accessibles.

La matière à traiter est chargée sur l'un des rouleaux, qui l'amène dans la zone d'action d'un arc électrique ; elle s'écoule, échappant ainsi à l'arc, à mesure que le cylindre pousse d'autres matériaux vers l'aimant. L'arc est produit le long des pôles et porte le fer à transformer à la température voulue. Si le minerai ne possède pas la propriété magnétique à un degré suffisant, M. Ruthenberg a recours, pour créer l'arc, à des dispositions spéciales : le minerai est mélangé de tournure de fer dans des proportions variables selon les circonstances ; l'opération serait, sans cette précaution, lente, paresseuse.

Le travail qui vient d'être décrit s'applique aux minerais en petits fragments ; le fourneau Ruthenberg n'est pas, à proprement parler, un four électrique : il sert simplement, soit à agglomérer (c'est ce qui vient d'être exposé) les minerais très divisés, soit à réduire l'oxyde de fer en une masse spongieuse, susceptible d'être employée dans le haut-fourneau. D'après M. Ruthenberg, l'action du courant, dans le premier usage ci-dessus, aurait encore pour effet d'expulser une grande partie du soufre.

La seconde application du four (réduction directe du minerai) est plus intéressante, bien qu'ici encore, la méthode n'ait aucune importance pratique. Le minerai est mélangé de charbon et soumis à l'action de l'électricité, qui le transforme en fer métallique se présentant sous la forme d'une matière grossière, calcaire, que l'on peut substituer aux vieux fers dans le four à foyer ouvert : Un four Ruthenberg a fonctionné à Lockport (Etats-Unis) ; sa capacité est estimée à 2 $^1/_2$ ou 3 tonnes (par journée de travail de 20 heures) ; l'énergie électrique qu'il requiert est d'environ 25 chevaux. Il existe un second four semblable, mais beaucoup plus grand.

VII. — Procédé Kjellin (1901)

Au point de vue technique, la méthode, fort ingénieuse, du Suédois Kjellin peut être mise en parallèle du procédé Héroult ; toutes deux constituent un réel succès. Le dispositif de M. Kjellin fonctionne actuellement à Gysinge et l'on projette sérieusement d'en étendre l'application ; depuis 1901, il est installé aux établissements que dirige M. Benedikts ; il n'a pas été modifié dans les lignes essentielles. Il donne des aciers de qualité extra.

Le four constitue un transformateur : l'acier reçoit un courant de tension peu élevée, mais de forte intensité, tandis qu'un courant alternatif de haut voltage est envoyé dans le primaire. Les électrodes n'existent plus.

On introduit dans le four, de forme circulaire, une charge de fer doux, à laquelle on ajoute 25 pour cent de fer carburé pur en lingots ou, mieux encore, déjà en fusion.

Les principaux avantages que présente cette méthode sont facilement visibles : le chauffage

ne se fait pas extérieurement ; les frais d'entretien sont donc fortement réduits ; les creusets sont supprimés ; les gaz résultant de la combustion n'arrivent pas au contact de l'acier, même par diffusion ; le revêtement du four peut être fait de silice et de magnésie ; on peut obtenir, d'une seule opération, approximativement une tonne d'acier, alors que les moyens habituels ne permettent pas de dépasser une charge beaucoup moindre, ce qui est un obstacle à la fabrication d'une quantité un peu notable d'acier de composition absolument uniforme, etc.

Un four de Kjellin d'une puissance de 225 chevaux-vapeur (soit 165 kilowatts) peut donner, en 24 heures, plus de 4 tonnes d'acier de tout premier choix.

Le prix de la tonne est approximativement de 215 francs se décomposant de la façon qui suit :

Puissance électrique (calculée à raison de fr. 0,0189 par cheval-vapeur-heure, la génératrice étant actionnée par un moteur à gaz) : 1,320 chevaux-heure	25 » fr.
Charge complète	162 50 »
Moules	1 25 »
Réparations	10 50 »
Intérêt et amortissement	2 85 »
Salaires	12 50 »
Total	214 60 fr.

Les frais d'entretien sont, comme on le voit, fort peu élevés ; ils sont plus réduits encore quand on charge le fer en fusion et qu'on emploie des fours de plus grandes dimensions. Par contre, le prix de la charge augmenterait, on le conçoit, si l'on devait avoir recours à des produits très purs ou bien à des alliages spéciaux, au molybdène, au chrome, au tungstène, par exemple.

L'intérêt et l'amortissement sont calculés en prenant pour prix de l'installation complète (non compris, toutefois, la force motrice), avec l'équipement électrique, une valeur de 15.000 couronnes.

A titre de renseignement, ajoutons que 3 spécimens d'acier, parmi les meilleurs, contenaient respectivement, en pour cent :

	Carbone	Silicium	Manganèse	Phosphore	Soufre
1.	1.45	0.47	0.49	0.011	0.010
2.	id. 1.20	id. 0.74	id. 0.46	id. 0.013	id. 0.010
3.	id. 0.95	id. 0.35	id. 0.33	id. 0.014	id. 0.015

***

Bien que les avantages signalés au sujet de la méthode expérimentée à Gysinge soient, plus ou moins complètement, offerts par les autres procédés électriques, on peut conclure des données qui précèdent que les conditions dans lesquelles la métallurgie du fer et de l'acier serait économiquement opérée par l'électricité sont tellement exceptionnelles que l'on peut dire qu'elles sont irréalisables.

Comme nous le signalions au début, les chiffres cités sont basés sur la supposition que l'on dispose d'une source de force hydraulique facilement utilisable et que le prix du minerai soit peu élevé. Ils seraient trop faibles dans la plupart des cas, et surtout si l'on devait avoir recours, pour produire l'électricité nécessaire, à des moteurs, ceux-ci fussent-ils même de puissantes machines à gaz.

En tout cas, le coût net de la tonne d'acier obtenu électriquement est fort élevé, étant donné que le métal n'est pas de qualité supérieure et telle qu'on puisse, par exemple, l'employer pour la fabrication des objets (axes, arbres) qui, soumis à des efforts mécaniques considérables, doivent être constitués d'un acier exceptionnellement résistant.

Il ne peut être dénié cependant, qu'un certain avenir soit ouvert aux procédés électriques en ce qui concerne la préparation d'aciers pour outils.

M. Rossi, de New-York, a tenté de démontrer (« Iron Age » 20 novembre 1902) que la fusion électrique de l'acier peut donner un résultat industriel satisfaisant.

Il établissait la comparaison sommaire suivante :

Fabrication d'une tonne de fer par le haut-fourneau 1.66 tonne de minerai (à raison de la tonne)	37 50 fr.
1 tonne de coke	12 50 »
$^1/_2$ tonne de pierre à chaux	2 50 »
Main-d'œuvre, etc	10 » »
Total	62 50 fr.

Fabrication d'une tonne de fer par le four électrique. 1.66 tonne de minerai (à raison de la tonne)	6 25 fr.
0.32 tonne de charbon pour la réduction	2 » »
$^1/_2$ tonne de pierre à chaux	2 50 »

Main d'œuvre.....................	10 » »
Electrodes........................	12 50 »
Electricité.........................	27 50 »
Total......	60 75 fr.

Cette estimation n'est pas sans présenter d'assez nombreux points faibles. Le chiffre donné pour le prix de l'électricité paraît fort aventuré. M. Rossi se base sur la possibilité d'obtenir l'énergie à raison de 50 francs par cheval de courant électrique fourni de façon absolument ininterrompue. C'est là une hypothèse semblant hasardée : les endroits sont extrêmement rares où l'on pourrait avoir l'électricité à ce prix. Nous remarquons aussi que M. Rossi fournit le minerai traité au four électrique, à 3.75 fr. la tonne, alors que le haut-fourneau doit acquitter, pour la même quantité, une somme de 21.50 fr. Voir aussi les valeurs respectives du coke et du carbone de réduction.

Nous n'insistons pas sur ces devis parce qu'une autre raison vient à l'encontre de l'idée qu'a voulu défendre M. Rossi. L'installation complète d'un haut-fourneau pouvant produire trois cent cinquante tonnes de fer par jour se monte approximativement à 5.000.000 de francs. Une installation électrique équivalente coûterait, au moins, cinq fois plus, 25.000.000, en admettant qu'on puisse utiliser une force hydraulique ; elle exigerait une puissance motrice de plus de 60.000 chevaux ; une telle source naturelle d'énergie ne se trouverait que difficilement et dans bien peu de pays.

D'après M. Rossi encore, la Compagnie dont il faisait partie aurait obtenu, pendant une période de dix semaines, une tonne de fer par 200 chevaux-jours. Ce résultat serait exceptionnellement remarquable. On a évalué que l'énergie indispensable pour extraire d'un minerai à 65 $^0/_0$ une tonne de fer s'élèverait, au minimum, *et en admettant que tout le calorique soit utilisé,* à 131 chevaux-vapeur-jours. La consommation dénoncée par M. Rossi ne dépasse donc que de 50 $^0/_0$ celle d'un four de réduction parfait, théorique, où serait traité un excellent minerai.

Quoi qu'il en soit, M. Héroult dont la méthode est remarquablement combinée, n'a pas cru devoir poursuivre, pour le moment, la fabrication industrielle électrique ; il n'abandonne pas les procédés antérieurs. Même dans le four perfectionné employé en Suède, la dépense d'énergie est supérieure, et de beaucoup, à celle qu'a pensé pouvoir chiffrer M. Rossi : elle s'élève à 362 chevaux-vapeur-jours (24 heures) par tonne. M. Keller, de son côté, admet une dépense très voisine de celle que fixe M. Héroult.

Sans être pessimiste, nous pouvons conclure de tout ce qui précède que, dans le domaine de la métallurgie du fer, l'électricité n'est pas près d'apporter la révolution qu'elle a causée dans d'autres domaines de l'activité humaine.

E. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

RADIOACTIVITÉ. — ***Des colorations produites par les rayons de Becquerel (application à la Cristallographie ; détermination colorimétrique de la radioactivité).*** Notes de MM. **C.-J. Salomonson** et **G. Dreyer,** présentée par M. Bouchard.

« Dans une précédente Note *Sur les effets physiologiques du radium* (1), présentée à l'Académie le 13 juin dernier nous avons attiré l'attention sur la coloration forte produite dans des plaques de quartz exposées à l'éclairement du radium, phénomène semblable à celui observé, pour le verre (1), la porcelaine, le sel gemme, le bromure de potassium (2), par M. et Mme Curie et par M. Giesel, et plus tard, pour le diamant (3), par M. Crookes. Nous y avons émis l'opinion que la délimitation rectiligne caractéristique des parties colorées pouvait être due à une structure à macles. Nos

(1) Salomonson et Dreyer, *Comptes rendus*, t. CXXXVIII, 1904 page 1543.

(1) M. et Mme Curie, *Comptes rendus*, t. CXXIX, 1899, page 823.

(2) Giesel, *Verhandl. d. deutschen physikal. Ges.*, 1900, page 9.

(3) Crookes, *Proc. Roy. Soc.*, t. LXXIV, 1903, page 47.

recherches ultérieures n'ont pas confirmé cette supposition. M. N.-V. Ussing, professeur de Géologie de l'Université de Copenhague, a bien voulu nous prêter son concours précieux en examinant une de nos plaques dans laquelle le phénomène de la coloration était bien prononcé, d'après la méthode pyro-électrique de Kundt; il n'y avait pas la moindre trace de structure à macles. D'autre part, l'examen minutieux d'un assez grand nombre de plaques taillées perpendiculairement à l'axe optique a montré qu'il y a toujours, dans les parties colorées, des lignes assez prononcées, formant entre elles des angles de 120° et qui sont parallèles aux axes binaires du cristal. On observe encore, parallèlement à ces lignes, tout un système de stries moins prononcées et rapprochées les unes des autres preuve de l'existence d'une *structure zonée* provenant de l'accroissement successif du cristal. Le plus souvent, la coloration est très inégale, une strie de la structure zonée formant la limite entre une partie foncée et une partie plus claire, comme c'est le cas, quelquefois pour la coloration naturelle de l'améthyste. Jusqu'ici il a été impossible d'observer sur du cristal de roche incolore une structure zonée d'accroissement et de démontrer ainsi de l'hétérogénéité entre les couches d'accroissement de ces cristaux. Ainsi *l'exposition au radium révèle, pour le quartz, des phénomènes cristallographiques qui, jusqu'à présent, se sont soustraits à l'observation.* Il y a donc lieu de soumettre d'autres cristaux à un examen systématique en les exposant au radium. Nous avons entrepris un tel examen dans deux cas, mais sans obtenir des renseignements nouveaux : 1° dans des cristaux de gypse, aucun effet ne s'est produit, même au bout de quatre jours d'éclairement; 2° au bout de six jours d'exposition, le spath d'Islande n'a pris qu'une teinte jaunâtre à peine perceptible.

» Par suite de l'inégalité de la coloration (*voir* plus haut) des parties uniformément éclairées de la même plaque de quartz, il sera impossible de baser sur cette coloration une *méthode colorimétrique pour la recherche de la force de la radioactivité* et dont on pourrait se servir concurremment avec les méthodes employées jusqu'ici : la radiographique, l'électrique, la fluoroscopique. Le verre, au contraire, se colore, sous l'action des rayons de Becquerel, d'une manière parfaitement uniforme. Combien sa sensibilité en réactif est grande, c'est ce que l'on constate facilement en exposant des parties égales d'une plaque de verre à l'action de la même préparation de radium pendant des temps courts et variés.

» Voici le traitement auquel nous avons soumis une plaque de verre pour la faire servir d'échelle dans une série d'essais physiologiques. Nous avons placé du bromure de radium pur, déposé dans une une capsule d'ébonite couverte de mica au-dessus d'une plaque de verre mince. Entre la capsule et le verre est placée une plaque d'ébonite de 1^{mm} d'épaisseur et au milieu de laquelle se trouve une ouverture carrée de 16^{mm^2}. Le verre est resté exposé à l'action du radium pendant des temps croissant d'une manière égale par $\frac{1}{5}$ jusqu'à la durée de 8 heures, le premier temps étant de 5 minutes. Tandis que 20 minutes d'exposition n'ont produit aucune coloration certaine, on a déjà, au bout de 24 minutes, pu constater une coloration distincte en examinant la plaque de verre sur un fond blanc et dans un jour convenable. Les parties suivantes, exposées pendant des durées croissant de 30 minutes jusqu'à 8 heures environ, ont montré une échelle de teintes dont tous les degrés variaient d'intensité d'une manière bien nette.

» Déjà Mme Curie a observé que les différentes espèces de verre prennent des couleurs différentes d'après leur composition chimique [1]. Ajoutons qu'elles présentent de grandes différence de *sensibilité* pour l'action des rayons de Becquerel. Pendant la même durée, les unes se colorent d'une manière beaucoup plus intense que les autres. Ainsi le *Borosilikat-Kron-Glas* n° 3453, de la maison Schott et Cie (d'Iéna), s'est montré beaucoup plus sensible à l'éclairement que les autres verres dont nous nous sommes servis. Ces deux circonstances, cependant, n'amènent pas d'inconvénients tant qu'il ne s'agit que de mesures relatives, l'expérimentateur pouvant toujours se munir de plaques de verre de la même fonte. Il faudra des recherches ultérieures pour montrer si, pour obtenir une mesure absolue de la radioactivité, on pourra se servir avantageusement de la voie indiquée ici en employant, par exemple, comme unité, le temps au bout duquel un poids donné de radium, distribué sur une surface donnée, a produit, sur une plaque de verre de composition chimique connue, une coloration perceptible. »

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS

Mesure de la conductibilité électrique, d'après M. **Rollo Appleyard** dans Proceedings of The Institution of Civil Engineers, de Londres.

C'est généralement au cuivre pur de Matthiesen que l'on reporte, dans l'industrie, les conductibilités imposées aux fournisseurs. Le chiffre que l'on fixe presque toujours, pour ce qui concerne les câbles, est de 98 %. La détermination de la conductibilité est, en règle générale, une opération très délicate et hérissée de difficultés qui rendent les mesures au moins désagréables ; il est excessivement rare, en effet, que l'on puisse déduire la conductibilité du métal de la connaissance de la longueur, de la section et de la résistance du fil essayé, parce que, le plus souvent, la section n'est pas uniforme.

Si, reculant devant l'ennui de mesures répétées pour chaque section, on se bornait à un seul essai final, on pourrait être exposé à voir rejeter tout le câble ; il importe donc de vérifier séparément les différentes parties et, pour que cette opération ne soit pas fastidieuse au point qu'on hésite à la faire, il est désirable de rechercher un appareil et un procédé de mesure permettant d'arriver à un résultat suffisamment précis avec la célérité indispensable aux expériences courantes.

En pratique, il n'est pas nécessaire d'arriver à une exactitude absolue et l'on peut admettre des erreurs de 0.1 pour cent; c'est de cet ordre que sont celles qu'a admises, dans le dispositif qu'il a combiné, M. Rollo Appleyard. L'appareil en question est un pont à curseur ordinaire, autrement dit, pont à fil divisé, combiné avec un système d'échelles, convenablement graduées et réglées, sur lesquelles se lisent directement, du moins pour des conductibilités comprises entre certaines limites, les valeurs relatives aux fils essayés, exprimées, soit en pour cents de la conductibilité du cuivre Matthiesen, soit, en cas de besoin, en unités C.g.s. Par suite même de l'usage auquel l'appareil est destiné, la partie du fil du pont, le long de laquelle doit se déplacer le curseur, est peu considérable et l'on peut économiser de l'espace en enroulant le fil, de part et d'autre, en deux bobines placées l'une contre l'autre, en un groupe compact ; le conducteur a fréquemment une longueur de 2 mètres ; on obtient de la sorte des divisions convenables et facilitant les lectures ; on pourrait augmenter la grandeur des divisions en faisant usage d'un fil plus long, ou en lui adjoignant des bobines de résistance choisie (neuf fois celle du fil, par exemple) ; mais il est à remarquer que l'accroissement des divisions n'a nullement pour résultat de réduire les erreurs commises ; celles-ci sont inhérentes à l'appareil, au système plutôt, et absolument indépendantes des dimensions du fil.

Comme dans le pont à curseur ordinaire, le socle de l'instrument porte trois bornes : le fil à essayer se rattache par l'un des bouts à la borne de droite ou à celle de gauche; le fil étalon est relié à la borne de gauche ou à celle de droite; les extrémités libres des deux conducteurs sont reliées toutes deux à l'une des bornes du galvanomètre, l'autre borne de celui-ci étant connectée à la borne médiane du pont, laquelle est en communication électrique, par l'intermédiaire des guides, avec le curseur; la pile, avec sa clef, est montée, comme toujours, entre les bornes extrêmes du socle.

Une échelle, dite *échelle des diamètres,* dont on règle la position selon les circonstances, est rendue solidaire, le réglage effectué, des mouvements du curseur; une seconde graduation complète l'appareil: c'est *l'échelle des conductibilités,* également déplaçable, vers la droite ou vers la gauche, parallèlement à la première et au fil du pont; enfin, un repère, sur un bloc métallique, indique la position, déterminée une fois pour toutes, du milieu électrique du conducteur du pont. Pour fixer l'emplacement du point milieu, il suffit de mettre en balance deux résistances égales, de modifier la position du curseur jusqu'à ce que le galvanomètre ne dévie plus, de visser le bloc à la position ainsi indiquée. A titre de vérification, et pour parer à toute erreur pouvant résulter d'un étalonnage inexact des bobines employées, on intervertira la situation de celles-ci ; le cas échéant, on prend, comme point de repère, la moyenne entre les deux positions du curseur.

C'est par des considérations de mathématiques très élémentaires que M. Appleyard a été amené à donner à l'instrument la forme que nous avons indiquée. La graduation des deux échelles découle du calcul. Le but poursuivi était de combiner un dispositif indiquant à première vue la conductibilité d'un fil quelconque, et permettant, par un procédé simple et rapide, de remédier aux difficultés résultant de l'inégalité des diamètres des fils mis en œuvre.

Pour arriver à ce résultat, il convient d'examiner quelle est, dans les deux hypothèses suivantes, la condition d'équilibre du pont :

1° les deux conducteurs comparés sont supposés avoir la même conductibilité, mais être de diamètres légèrement différents;

2° les diamètres sont les mêmes, mais les conductibilités diffèrent.

1re HYPOTHÈSE. — *Echelle des diamètres.*

Soient respectivement R_1 et R_2 la résistance du fil étalon et du fil essayé, ces deux conducteurs ayant, par supposition, la même conductibilité et la même longueur. Soient encore d le diamètre du 1er fil, $d + y$ celui du second, y pouvant être positif ou négatif; d'après la loi bien connue, on aura :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{(d+y)^2}{d^2} \qquad (1)$$

Déplaçons le curseur de façon à établir l'équilibre; supposons l'échelle du fil divisée en 100 parties égales et posons que, au moment où il y a balance, le curseur se trouve à l divisions en partant de la gauche, côté de la résistance étalon R_1.

On a aussi :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l}{100 - l} \qquad (2)$$

Combinant les deux proportions 1 et 2, on obtient

$$\frac{l}{100 - l} = \frac{(d + y)^2}{d^2}$$

d'où l'on tire la valeur de l :

$$l = \frac{100d^2 + 200dy + 100y^2}{2d^2 + 2dy + y^2}$$

et, en effectuant la division :

$$l = 50 + 50\left(\frac{y}{d}\right) - 25\left(\frac{y}{d}\right)^2 + \frac{25}{2}\left(\frac{y}{d}\right)^4 \text{ etc.} \quad (3)$$

Si l'on fait $y = 0$, on a : $l = 50$, c'est-à-dire que le premier terme, 50, représente le milieu de l'échelle et les termes suivants, le déplacement, par rapport au milieu, résultant de ce que les diamètres ne sont pas égaux.

Il est à remarquer tout d'abord que les termes y et d étant à la même puissance, l'expression 3 est indépendante de l'unité employée et, par suite, absolument générale.

Cela étant, M. Appleyard donne à y et à d différentes valeurs susceptibles de se rencontrer dans la pratique et obtient pour l un certain nombre de systèmes de valeurs; chacun de ces systèmes est représenté par un diagramme qu'il suffit de consulter pour connaître, dans un cas quelconque, la valeur du déplacement à imprimer au curseur.

Supposons par exemple qu'on donne les valeurs 10, 15, 20, 25, etc.; pour chacune de ces valeurs, on trouvera, en faisant d'abord $y = 1$, par exemple, une valeur déterminée de la somme

$$50\left(\frac{y}{d}\right) - 25\left(\frac{y}{d}\right)^2 + \frac{25}{2}\left(\frac{y}{d}\right)^4 \ldots$$

On conçoit aisément comment on peut interpréter ces résultats dans la pratique. Il suffit à cet effet de déplacer la division correspondant au milieu électrique du fil, c'est-à-dire de donner au milieu une position fictive dont la distance à celle de la position réelle soit égale à la valeur

$$50\frac{y}{d} - 25\left(\frac{y}{d}\right)^2 + \frac{25}{2}\left(\frac{y}{d}\right)^4 \ldots \text{ etc.}$$

Pour faire un essai quelconque, on mesure donc les diamètres du fil expérimenté et du fil étalon et l'on déduit de là, en consultant, afin d'obtenir plus de célérité, les tables préalablement dressées, le déplacement du milieu du conducteur à curseur.

L'échelle des diamètres a pour but de faciliter ces manœuvres; elle est divisée en parties correspondant chacune à un centième de la longueur du fil, avec le 0, pourvu d'un index, au milieu. Quand les diamètres des fils comparés sont égaux, le curseur est placé en face du zéro de l'échelle des diamètres et les deux pièces sont ajustées l'une sur l'autre dans cette position ; s'il y a une inégalité entre les rayons, on déplace le curseur en se référant, pour déterminer la valeur de ce déplacement, aux tables dont nous avons parlé plus haut; l'échelle des diamètres et le curseur sont fixés et, dès lors, l'échelle se déplace comme précédemment, avec le curseur ; c'est l'index correspondant au zéro de l'échelle des diamètres qui sert à faire les lectures sur la graduation des conductibilités, dont nous allons voir le rôle. Il suffit que l'échelle des diamètres comporte quelques divisions, cinq au maximum, de chaque côté du zéro.

2me HYPOTHÈSE. — *Echelle des conductibilités.*

Nous savons comment on peut tenir compte mécaniquement des différences de section entre les fils essayés. Comment s'effectuera dès lors la détermination de la conductibilité. Le déplacement du curseur, par rapport au zéro de l'échelle

des diamètres, a pour conséquence de nous permettre de considérer les fils conducteurs mis à l'épreuve comme semblables de dimensions. C'est de cette supposition que nous allons donc partir.

Soient encore, comme dans le 1[er] cas :
R_1 la résistance du fil étalon et
R_2 celle du fil expérimenté.

Représentons la conductibilité de ce dernier par $100 + x$, en admettant provisoirement que le fil étalon soit un fil de cuivre de Matthiesen ou, du moins, qu'il ait lui-même une conductibilité de 100 %.

Nous aurons alors :

$$100\, R_1 = (100 + x)\, R_2 \text{ ou } \frac{R_1}{R_2} = \frac{100 + x}{100} \qquad (4)$$

Plaçons alors les fils en balance et établissons l'équilibre :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l}{100 - l}. \qquad (5)$$

En combinant les équations 4 et 5, nous obtenons :

$$\frac{l}{100 - l} = \frac{100 + x}{100}$$

proportion dont nous tirons :

$$l = \frac{100\,(100 + x)}{200 + x}. \qquad (6)$$

La conductibilité généralement imposée est de 98 %; tout câble dont la conductibilité serait inférieure à 96 % serait rejeté dans presque tous les cas; d'autre part, il est fort peu probable qu'on puisse trouver un câble dont la conductibilité dépasse 104 %; en d'autres termes, nous pouvons admettre dès le début qu'il n'est pas nécessaire de faire varier x, qui est positif ou négatif, au delà des valeurs $+5$ et -5.

Donnons à x les valeurs successives 5, 4, 3, 2, 1, 0,1, 2, 3, 4, 5.

Nous obtiendrons dix valeurs de l qui sont indiquées au tableau ci-après (l est exprimé en centièmes de la longueur du fil du pont).

Si la conductibilité du fil essayé est moindre, la résistance augmente, pour une longueur et une section déterminées et l'on doit déplacer, pour obtenir l'équilibre, le curseur du côté gauche; mais la variation de l n'est pas régulière, ainsi qu'on peut le constater par l'examen du tableau; la graduation d'une échelle portant ces valeurs ne serait donc pas uniforme.

Tableau I

x	Conductibilité en %	l	Différences
5	105	51,220	0,240
4	104	50,980	0,241
3	103	50,739	0,244
2	102	50,495	0,246
1	101	50,249	0,249
0	100	50.000	0,251
—1	99	49,749	0,254
—2	98	49,495	0,256
—3	97	49,239	0,259
—4	96	48,980	0,262
—5	95	48,718	

Proposons-nous de déterminer la grandeur de l'erreur que l'on commettrait en prenant pour grandeur des divisions de l'échelle, la valeur moyenne 0,250 des différences mentionnées au relevé qui précède.

Autrement dit, dressons une échelle comptant, de part et d'autre de la division 100, qui correspond au milieu électrique du fil du pont, cinq degrés valant, chacun, le quart du centième de la longueur du conducteur en question et numérotons-les 95, 96,... 100. Faisons l'essai, au moyen de l'appareil ainsi gradué, d'un câble ayant le même diamètre que l'étalon ; pour établir l'équilibre, il nous faut, par exemple, déplacer le curseur de façon que l'index soit en face de la division 98. De quelle grandeur sera l'erreur que nous ferons en prenant, pour valeur de la conductibilité, en % de celle de l'étalon, le chiffre de 98 que nous venons de lire?

Un calcul très simple va nous l'indiquer immédiatement. Poser que la conductibilité est de 98 % revient à dire, si l'on se souvient de la grandeur qui a été donnée aux divisions de l'échelle des conductibilités, que l est égal à 49,500; portons cette valeur dans l'équation 6 :

$$l = \frac{(100 + x)\,100}{200 + x} = 49{,}5,$$

nous obtenons une valeur de x qui est : — 1.980 ; la conductibilité de l'échantillon examiné est donc, en réalité $100 + x = 98{,}02$ %, alors que le chiffre indiqué par l'index est 98 % seulement.

L'erreur commise est donc moindre que 0,1 %; dans ce cas donc, l'approximation serait amplement suffisante, puisque, dans la pratique, il n'est pas nécessaire de dépasser le dernier chiffre (0.1 %) indiqué.

En procédant de la même façon pour les autres valeurs de la conductibilité, on constate que les résultats indiqués par l'appareil sont suffisamment exacts pour les besoins de la pratique entre 94 et 104 %; pour 95 et 105 %, l'approximation n'est plus suffisante ; la différence entre la valeur lue et la valeur réelle est 0,128, dans le premier cas, 0,122 dans le second.

On pourrait obtenir une exactitude plus grande, mais entre de moins larges limites, en prenant des divisions de 0,255 centièmes, ce qui est une valeur plus approchée de la moyenne des différences indiquées au tableau qui a été donné précédemment.

Nous pouvons donc dès à présent utiliser l'appareil Appleyard sous deux conditions, c'est-à-dire qu'il nous est possible de mesurer la conductibilité d'un fil de diamètre quelconque relativement à celle d'un autre dont on prendrait la conductibilité comme terme de comparaison. Le cuivre auquel on rapporte les conductibilités, est généralement, comme on le sait et ainsi que nous l'avons rappelé déjà, le cuivre Matthiesen ; il reste donc à voir comment il faudra procéder quand l'étalon employé ne sera pas constitué de cette variété de cuivre, en d'autres mots, il faut déterminer quelle est la position qu'il convient de donner à l'échelle des conductibilités pour que le chiffre indiqué par l'appareil représente, quel que soit le câble de comparaison, la conductibilité du métal employé en % de celle du cuivre Matthiesen.

Supposons donc que la conductibilité de l'étalon soit $100 + \omega$, celle du fil essayé restant $100 + x$; nous avons alors :

$$(100 + \omega)\, R_1 = (100 + x)\, R_2 \qquad (4_a)$$

ou

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{100 + x}{100 + \omega}$$

et d'autre part :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l}{100 - l} \qquad (5_a)$$

d'où :

$$l = \frac{100\,(100 + x)}{200 + x + \omega} \qquad (6_a)$$

et aussi :

$$x = \frac{l\,(200 + \omega) - 10000}{100 - l}$$

Donnons à ω quelques valeurs choisies en admettant, pour prévoir toute éventualité, que ω puisse varier entre $+ 4$ et $- 4$.

Pour chaque valeur de ω, nous trouvons un système de grandeurs de x en faisant $l = 50 \pm n\, 0.25$, n pouvant être $+ 5, + 4, \ldots 0, - 1, \ldots - 5$.

Supposons, par exemple, $\omega = - 4$, $l = 50 + 5 \times 0{,}25 = 51.25$, nous aurons $x = 0.882$, alors que l'index donne $x = 5$; d'où $x + \omega = 1$, ce qui diffère de la valeur roelle, 0.882, de 0.118.

En répétant ces calculs, nous obtenons les chiffres ci-dessous :

Tableau II

$l =$ $50 \pm 0.25n$	Lecture à l'échelle $100 \pm n$	Conductibilité en prenant $100 \pm n + \omega$	$x = \frac{196l - 10000}{100 - l}$	Conductibilité réelle	Différence entre la conductibilité lue et la conduct. réelle
51.250	105	101	+ 0.882	100.882	0.118
51.000	104	100	— 0.082	99.918	0.082
50 750	103	99	— 1.056	98.944	0.056
50.500	102	98	— 2.041	97.959	0.041
50.250	101	97	— 3.015	96.985	0.015
50.000	100	96	— 4.000	96.000	0.000
49 750	99	95	— 4.955	95.045	0.045
49.500	98	94	— 5.901	94.099	0.099
40.250	97	93	— 6.838	93.162	0.162
49.000	96	92	— 7,764	92.236	0.236
48.750	95	91	— 8.684	91.316	0.316

E. G.

Sens. — Imprimerie Miriam, 1, rue de la Bertauche

Le Gérant : A. Bonnet.

Tome XLI. Samedi 26 Novembre 1904. 11e Année. — N° 48

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DÉTERMINATION GRAPHIQUE DES CARACTÉRISTIQUES DES DYNAMOS COMPOUND

On sait comment on détermine l'enroulement en série des dynamos à enroulement compound à courant continu. Lorsqu'il s'agit d'une dynamo compound, on prend pour les ampèretours inducteurs série la différence entre les ampèretours totaux nécessaires en charge à la tension voulue et les ampèretours à vide à la même tension.

Avec les machines hypercompound, c'est-à-dire devant réaliser une tension aux bornes croissant avec la charge, le problème est à peu près le même. On relève sur la caractéristique en charge à tension constante, obtenue pour la tension maxima, c'est-à-dire la tension en pleine charge, le nombre d'ampèretours nécessaires en pleine charge et on en retranche ensuite le nombre d'ampèretours correspondant à vide à la tension minima. La différence représentera la force magnétomotrice à créer par l'enroulement série augmentée, toutefois, de l'accroissement des ampèretours du circuit en dérivation quand on passe de la tension à vide à la tension en charge ; il suffit donc de retrancher le nombre obtenu pour les ampèretours d'augmentation du circuit shunt des ampèretours supplémentaires totaux pour avoir les ampèretours correspondant à l'enroulement série seul.

Si U est la tension à vide, U_1 la tension en pleine charge, *mi* les ampèretours à vide par pôle, les ampèretours du circuit shunt seront, en charge, $mi\frac{U_1}{U}$;

ce qui correspond à une augmentation des ampèretours en dérivation de :

$$mi\frac{U_1}{U} - mi = mi\frac{U_1 - U}{U}.$$

**

Le nombre d'ampèretours totaux nécessaires pour passer de la marche à vide à celle en charge étant NI, le nombre cherché d'ampèretours de l'enroulement série sera

$$NI - mi\frac{U_1 - U}{U},$$

et le nombre de spires correspondant :

$$N - m\frac{U_1 - U}{U}\frac{i}{I}.$$

On prend évidemment le nombre entier le plus voisin, en tenant compte du mode dont est effectué l'enroulement série, mode qui peut, comme on le sait, introduire, par paire de pôles, un nombre impair de spires.

L'enroulement série une fois déterminé, comme il n'y a pas en général, à partir du point de marche à vide sur la caractéristique à vide, une proportionnalité entre l'augmentation du flux inducteur utile et la somme des ampèretours complémentaires du circuit shunt et des ampèretours série, la tension aux bornes de la machine ne satisfait pas rigoureusement

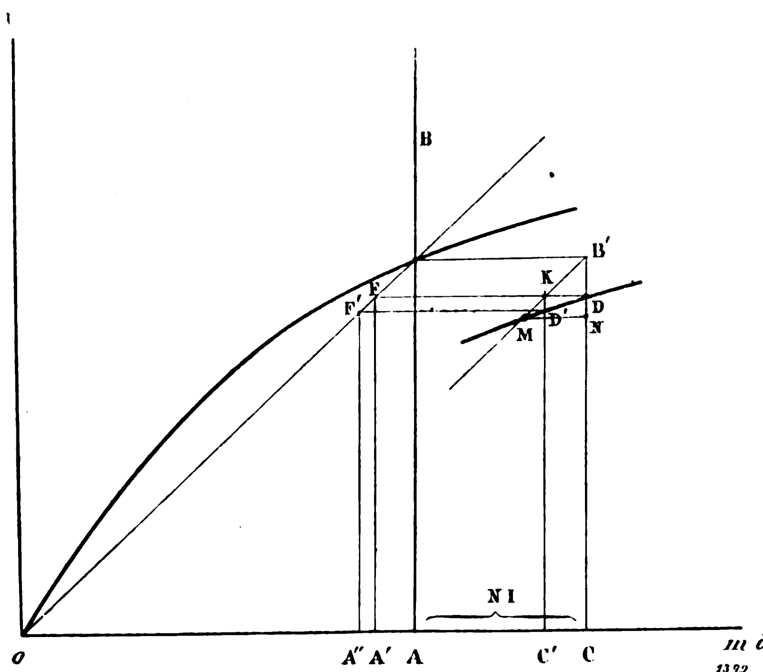


Fig. 1 [1]

à la loi imposée : constance de la tension aux bornes pour les dynamos compound et augmentation de la tension aux bornes proportionnellement au courant de débit pour les machines hypercompound.

Il serait donc intéressant de pouvoir vérifier le degré d'approximation obtenue et par suite de pouvoir déterminer *à priori* la caractéristique en charge de la machine. On peut y arriver graphiquement d'une manière assez simple si l'on a déterminé expérimentalement une série de caractéristiques à intensité constante.

Le problème à résoudre est le même, qu'il s'agisse d'une dynamo compound ou d'une dynamo hypercompound.

Occupons-nous donc par exemple d'une dynamo compound.

---

(1) Le lecteur est prié de mettre la lettre G à l'intersection des droites AB et FK.

Traçons la caractéristique à vide et les caractéristiques en charge pour différentes intensités en fonction des ampèretours d'excitation ainsi que la droite des inducteurs shunt ou droite des tensions aux bornes des inducteurs en fonction du courant d'excitation shunt.

La tension à vide étant AB, supposons qu'on porte la charge à I ampères ; on crée ainsi dans l'inducteur une f. é. m. supplémentaire connue de NI ampèretours, N étant le nombre de spires du circuit série.

Si l'excitation shunt était restée constante, en portant NI en AC et en cherchant le point D de la caractéristique à intensité I situé sur la verticale du point C, on aurait en CD la tension aux bornes pour le courant I.

Cette tension étant inférieure, par exemple, à la tension à vide, les ampèretours d'excitation shunt diminueront d'une quantité obtenue en menant par D une parallèle à OA et en rappelant le point F, intersection de DF avec OA, en A'.

En repartant du point A' au lieu du point A, on obtiendrait un nouveau point D' et ainsi de suite.

On peut remarquer, d'autre part, que les segments FG et KD compris entre les parallèles équidistantes FA', GA et D'C', DC sont égaux, de sorte que les points tels que K resteront sur une parallèle à OB menée par le point B' situé sur la droite DC à la même hauteur que le point B.

Nous obtiendrons un point de la caractéristique cherchée, lorsque les points tels que K se trouveront sur la caractéristique à intensité constante pour le courant I puisqu'alors les points D et D' se confondront.

Ceci aura lieu précisément pour le point d'intersection de la droite KB' avec la caractéristique à courant constant I.

On déduit la construction suivante d'un point de la courbe :

On mène par B une horizontale BB' égale aux ampèretours série NI pour un courant donné, puis par B une parallèle à OB, jusqu'à sa rencontre avec la caractéristique à intensité constante I ; le point de rencontre est le point de régime cherché ; son ordonnée sera l'ordonnée de la courbe en charge et correspondra à une abscisse I. On pourra prendre pour abscisse le segment AC lui-même, ce qui rapportera la caractéristique aux axes AB et AC.

Avec les dynamos hypercompound, la construction est la même, avec cette différence toutefois que les points F, F' etc.... tombent toujours au-dessus du point B tandis que, dans le cas précédent, ils peuvent être tantôt au-dessus, tantôt au-dessous, suivant le cas.

On vérifie facilement que si les parties supérieures des caractéristiques à vide et pour diverses intensités constantes sont droites, la caractéristique en charge sera elle-même une droite parallèle à l'axe des intensités de débit en admettant, bien entendu, que les distances des caractéristiques à intensité constante à la caractéristique à vide sont proportionnelles au courant de débit, ce qui aura lieu en général si les balais restent pratiquement à la même place sur le collecteur pour toutes les charges.

On reconnaît, en effet, que si l'on considère une intensité double de la précédente, les droites KB' et DD' sont déplacées latéralement d'une quantité double de AC et que, par suite, le point N reste sur une parallèle à l'axe des ampèretours.

On peut facilement trouver l'équation de la caractéristique en charge d'une dynamo à double enroulement inducteur connaissant celle de la caractéristique à vide.

Cherchons d'abord le lieu du point M, intersection de la caractéristique à intensité constante et de la parallèle à la droite des inducteurs.

Soit :

$$y = f(x),$$

l'équation de la caractéristique à vide, et :

$$y = mx,$$

celle de la droite des inducteurs.

Si l'on admet, avec M. Potier, que la caractéristique à intensité constante I est parallèle à la caractéristique à vide suivant une direction définie par les quantités aI et bI proportionnelles à I, l'équation de cette caractéristique à intensité constante sera :

$$y + b\mathrm{I} = f(x - a\mathrm{I}),$$

Quant à celle de la droite BK, parallèle à OB, elle est :

$$y = m(x - \mathrm{NI}),$$

NI désignant le nombre d'ampèretours série si les abscisses sont évaluées en ampèretours.

Le lieu du point M s'obtiendra en éliminant I entre ces deux dernières équations, ce qui donne en remplaçant dans la première I par sa valeur tirée de la seconde :

$$y + b\frac{mx - y}{m\mathrm{N}} = f\left(x - a\frac{mx - y}{m\mathrm{N}}\right),$$

ou :

$$\frac{b}{\mathrm{N}}x + y\left(1 - \frac{b}{m\mathrm{N}}\right) = f\left[x\left(1 - \frac{a}{\mathrm{N}}\right) + \frac{a}{m\mathrm{N}}y\right].$$

Pour avoir le lieu du point N de la caractéristique en charge en prenant pour axes AB et AC, il suffit de remarquer que l'ordonnée reste la même et que l'on a, en désignant par X l'abscisse NI :

$$y = m(\mathrm{X} - x).$$

L'équation de la caractéristique cherchée est donc, en éliminant x entre les deux dernières équations :

$$\frac{b}{\mathrm{N}}\frac{m\mathrm{X} + y}{m} + y\left(1 - \frac{b}{m\mathrm{N}}\right) = f\left[\frac{m\mathrm{X} + \mathrm{Y}}{m}\left(1 - \frac{a}{\mathrm{N}}\right) + \frac{m\mathrm{N}}{a}\mathrm{Y}\right]$$

$$\frac{b}{\mathrm{N}}\mathrm{X} + \mathrm{Y} = f\left[\left(1 - \frac{a}{\mathrm{N}}\right)\mathrm{X} + \frac{\mathrm{Y}}{m}\right]$$

La caractéristique en charge de la dynamo est donc une transformée linéaire de la caractéristique à vide comme les caractéristiques à intensité constante. Toutefois, la représentation de cette nouvelle courbe n'est pas *conforme*, c'est-à-dire ne reproduit pas la caractéristique à vide dans une orientation différente, ainsi que cela a lieu pour les caractéristiques à intensité constante.

La construction de la caractéristique en charge ainsi faite, elle permettra de vérifier si la loi qu'on a cherché à obtenir est suffisamment approchée. Si l'approximation est insuffisante, il y aura lieu de changer le bobinage shunt pour faire fonctionner la machine à vide en un point plus élevé sur la caractéristique à vide que celui précédemment adopté.

C. F. Guilbert.

NATURE INTIME DES RAYONS N ET N_1 [1]

Il existe un rapport étroit entre les rayons N et N_1 et l'électricité négative et positive ; c'est pourquoi nous pensons que les considérations qui suivent intéresseront toute personne qui, s'occupant d'électricité, désire connaître l'essence même de cette force.

Nous avons déjà vu l'identité existant entre les soi-disant rayons α et β de la radioactivité et l'électricité positive et négative [2], les seconds étant dûs aux parcelles volatilisées (ions), émanation d'une substance à l'état d'équilibre instable, les premiers au mouvement en sens contraire des éléments jouant le rôle d'oxygène. Cette conception paraît un peu confuse, faute de n'avoir pas vérifié ce qui se passe exactement, le plus simplement du monde, dans les phénomènes de radioactivité, enveloppés trop longtemps de propriétés qui n'ont en elles rien de mystérieux.

Voyons, par exemple, le Radium. Que n'a-t-il pas été dépensé d'imagination et d'argent à ce sujet jusqu'au jour où nous avons vu que ce corps se trouvait dans un état analogue à l'ozone par rapport à l'oxygène et était, en quelque sorte, un foyer radiant des parcelles invisibles reprenant à l'état de repos, comme nous le montre l'analyse spectrale, le nom d'Hélium.

Il est une remarque des plus importantes à faire : c'est que toute substance qui se dilate, ou change d'état en prenant une forme moins dense, ou bien encore toute source d'émanation, engendrent des radiations (quel que soit le nom qu'on donne à celles-ci) et dégagent de l'électricité, et que réciproquement toute source d'électricité est accompagnée d'un dégagement de parcelles.

Par parcelles ou corpuscules, il faut entendre la substance en état d'extrême division, les ions si l'on préfère, l'atome gazeux volatilisé, si l'on peut s'exprimer ainsi.

La chaleur détermine dans les corps une dilatation pouvant se traduire par la volatilisation du corps échauffé ou l'ionisation, c'est-à-dire la décomposition, du milieu ambiant, dont les atomes métalliques (tels que ceux d'hydrogène et de carbone dans l'air) sont projetés dans le sens des radiations et dont les autres (tels que l'oxygène) prennent une direction inverse.

Le froid produit, au contraire, une condensation des parcelles métalliques, en un mot, engendre les phénomènes opposés.

On observe que les mêmes causes donnent et des électricités de noms contraires et des rayons N et N_1, et que les phénomènes sont reversibles.

Nous ne pouvons trop nous étendre sur ces questions théoriques, venons-en aux faits, c'est-à-dire aux radiations N et N_1.

Les rayons N suscitent la phosphorescence des substances susceptibles de devenir lumineuses, rendent les flammes plus éclairantes, et jouissent de propriétés absolument inverses des rayons N_1.

Le meilleur révélateur de ces radiations, du moins celui qui est à la portée de tout le monde, est l'écran phosphorescent au sulfure de calcium.

---

(1) La Rédaction, tout en reconnaissant le grand intérêt de l'étude de M. Breydel, tient à en laisser la responsabilité entière à l'auteur; la question ici traitée étant de celles encore controversées, et l'existence des rayons N et N_1 étant même contestée par certains physiciens. — N. D. L. R.

(2) Voir la Lumière électrique, 11e année, t. XL, n° 39.

Prenez un carton noir ou du papier à grains rugueux, dessinez-y une série de raies fines et perpendiculairement une autre série ; prenez comme dimensions de ce carton 20 à 30 centimètres de côté et faites les raies les plus fines possible, le plus proprement possible, de façon à ce que la moindre variation de luminosité soit bien sensible. Comme substance, employez une pâte liquide faite d'une dissolution de sulfure de calcium dans du collodión étendu d'éther.

Laissez sécher et encadrez, si vous le voulez, de lattes de bois, afin de donner la rigidité, tout comme s'il s'agissait d'un écran à rayons X.

Comment surexciter la phosphorescence de cet écran? Toute source de lumière suffit ; la simple exposition à la lumière du jour et mieux au soleil, l'exposition au voisinage d'une bougie quelconque ou même d'une simple allumette, donne de bons résultats, mais l'étincelle électrique, ou l'insufflation d'effluves négatives, ou encore la mise en présence d'une lampe électrique ou d'un bec Auër ou autre à incandescence, donne encore de meilleurs résultats. Plus la source lumineuse est intense, plus longtemps dure la phosphorescence. Est-ce à dire que ces sources diverses sont des foyers de radiations spéciales? Je ne le pense pas, car, nous allons le voir, tout foyer vibratoire, tel qu'un corps chaud, un choc ou une impulsion brusque dans l'air ambiant, un coup de sifflet, un cri, une note de musique, suffisent pour produire les mêmes résultats.

Un caillou exposé à la lumière, à la chaleur, ou encore martelé, agit de même.

L'acier qui se trouve dans un état de contraction forcé, la généralité des métaux engendrent même des radiations semblables. En général, toute source de vibrations dirigées de l'intérieur de la substance vers l'extérieur donne de l'accentuation aux substances phosphorescentes et peut même la déterminer, si elle est suffisamment puissante. Inversement, le séjour dans l'obscurité atténue la phosphorescence, de même que le refroidissement et toute cause diminuant l'expansion ou les vibrations. On dit de ces dernières qu'elles engendrent des rayons N ; ce n'est là qu'une manière de parler.

Nous pouvons déjà concevoir qu'il n'y a là qu'une surexcitation ou une atténuation vibratoire des tourbillons atomiques :

La chaleur, la lumière, l'électricité négative produisent, en effet, cette accentuation de la phosphorescence; un milieu oxygéné ou ozonisé agirait de même. Inversement, le froid, l'obscurité, les effluves positives l'atténuent tout comme le ferait une atmosphère chargée de gaz carboniques.

J'ai même observé nettement que dans un réservoir en verre, dans lequel se trouve du sulfure de calcium, la compression atmosphérique diminue la luminosité, tandis que, à mesure que l'on y établit le vide, la phosphorescence augmente, montrant ainsi qu'il s'agit là tout simplement d'une contraction ou d'une dilatation atomique.

Ces causes agissent non seulement sur la phosphorescence, mais, comme on sait, elles modifient la luminosité de petites flammes ou d'étincelles électriques minuscules, elles peuvent même produire un effet notable sur la luminosité des tubes de Geisler, voire même sur des cohéreurs tels que ceux employés dans la télégraphie sans fil, mais dans lesquels les pointes en présence ou la limaille se trouvent dans des tubes dans lesquels la pression est réduite à 0,02 millimètres environ. Mais ces appareils sensibles ne peuvent faire partie que d'un laboratoire de précision ; nous ne nous contenterons donc que de l'écran à sulfure de calcium décrit plus haut.

Les points noirs non recouverts de sulfure de calcium sont d'autant moins obscurs que l'écran est plus lumineux et que l'observation en est plus aisée.

Ce révélateur à la portée du public demande cependant un certain usage, car, par exemple

le contact des mains, la respiration, la moindre contraction nerveuse, voire même l'attention soutenue ou le regard fixe, suffisent pour faire varier la luminosité, empêchant ainsi toute observation sérieuse; c'est pourquoi la photographie d'une flamme ou d'une étincelle projetée sur un écran serait certainement moins sujette à caution, de même que les variations apportées dans le cohéreur intercalé par exemple dans un circuit téléphonique, mais cela ne nous avancerai pas et nous ne ferons pas comme ce brave employé des télégraphes qui niait la possibilité de la télégraphie sans fil, faute de l'avoir expérimentée; nous nous fierons donc aux recherches et aux travaux minutieux concordant entre eux et nous verrons par les résultats obtenus ce que sont en réalité les rayons N et N_1.

Comme sources de rayons N nous avons encore, outre le caillou insolé de M. Blondlot et les lampes de Nernst ou autres, tout foyer lumineux et toute source de chaleur et d'électricité négative, un métal martelé, un cristal comprimé, le son d'une cloche ou en général une source vibratoire quelconque, le caoutchouc ou le verre comprimé, les larmes bataviques, l'acier, le laiton écroui et, en général, tous les métaux et tous les corps incandescents, un fil métallique chauffé au rouge, etc., etc.; il va sans dire qu'il ne s'agit ici que d'expériences vérifiées, mais qu'il existe de nombreuses sources de rayons N et que l'on peut en trouver partout, même dans la plante qui croît, la fleur qui s'épanouit ou la graine qui germe, et en un mot dans tout ce qui décèle quelque activité quelconque.

Comme sources de rayons N_1 nous avons, comme nous l'avons vu, le refroidissement, l'obscurité, et tout ce qui peut produire une contraction ou une pression.

Il y a cependant une chose paradoxale au premier abord, c'est qu'une cause agissant par compression, produit sur le corps comprimé une réaction qui se traduit par une dépression de ce corps, mais tout physicien se rendra aisément compte de la chose s'il tient compte de ce que l'atome animé d'un mouvement tourbillonnaire peut, en vertu de l'élasticité (si l'on peut se servir de ce terme) reprendre un mouvement accéléré si celui-ci a été momentanément ralenti.

Cela nous explique que la compression échauffe le corps comprimé, alors que l'échauffement d'un corps se traduit par sa dilatation. De même un corps que l'on veut électriser par frottement ou compression réagira par dépression; à la charge il présentera des propriétés et phénomènes opposés à ceux de la décharge.

Mais poursuivons; comme sources de rayons N_1 nous avons encore les fils métalliques étirés, allongés ou tendus, c'est-à-dire dont les atomes ou molécules tendent par réaction à se resserrer; nous avons encore, par exemple, des fils de verre tendus ou des tubes en verre à l'intérieur desquels nous diminuons la pression (lampe à incandescence ne fonctionnant pas, tube de Geisler ou de Crookes).

En général, comme je l'ai répété, tout corps, toute substance déprimée et tendant à réagir, c'est-à-dire à se comprimer, donnent des rayons N_1 et c'est l'inverse pour les rayons N.

Une lampe à incandescence à l'état normal, ne fonctionnant pas, est, par suite du vide qu'on y a fait, une source de rayons N_1; et la même lampe, si l'on y fait passer un courant rendant le fil intérieur incandescent, donne des rayons N.

Il y a plus; au sujet d'un fil incandescent, on observe qu'au bout d'un certain temps il cesse de donner des rayons N, il suffit de le frotter pour qu'il reprenne ses fonctions : la couche d'oxyde est en effet un obstacle à la transmission vibratoire (nous verrons tantôt comment la transmission se fait). Par contre, après extinction, ce fil donne encore pendant plusieurs heures des rayons N. En effet, ses molécules ont été surexcitées et continuent à radier tout comme le caillou insolé (nous verrons tantôt ce qu'il faut entendre par emmagasinement).

Après avoir sommairement examiné les sources de rayons N et N_1 et vu que les corps donnaient séparément des radiations suivant qu'ils étaient animés de mouvements contraires, nous allons voir qu'une même substance peut donner en même temps les deux radiations et même une troisième espèce que l'on peut appeler rayons N_2.

Le schéma ci-contre (fig. 1) nous montre ce qui se passe quand il s'agit d'émission de rayons N et N_1 simples.

Nous pouvons grouper à gauche les sources de rayons N et à droite celles de rayons N_1. D'un côté nous voyons l'électricité +, l'anode, les rayons α, les parcelles métalliques M se projetant par suite de la tension, de l'expansion, de la force centrifuge des tourbillons atomiques ou moléculaires surexcités et indiqués par les flèches M et de l'autre l'électricité —, la cathode, les rayons β, la concentration des parcelles métalliques et le mouvement inverse de l'oxygène.

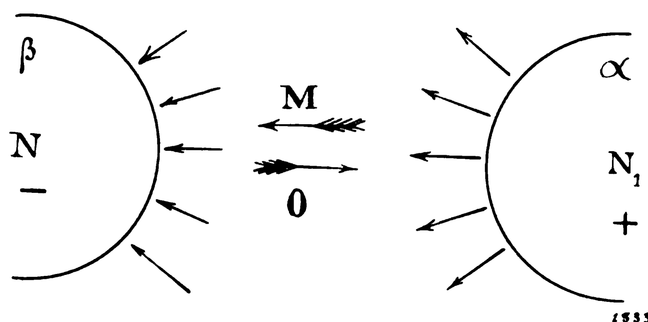


Fig. 1

Un même corps peut-il engendrer à la fois des rayons N_1 et N? Certainement, tout comme une substance radioactive donne des rayons α et β. En voici un exemple :

Un cristal de tourmaline ou de borax échauffé ou comprimé donne suivant les arêtes A des rayons N_1 et suivant les arêtes B, des rayons N; si, au contraire, on le refroidit la polarité est inversée, il en est de même de l'électricité que ce cristal engendre [1] (fig. 2).

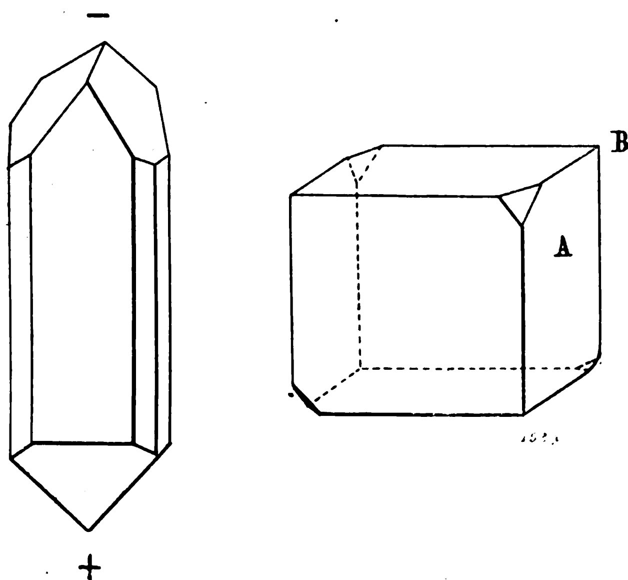


Fig. 2

Une lampe de Nernst donne à la fois des rayons N_1 et N; les premiers sont dûs à la volatilisation des parcelles, les seconds à l'oxydation.

Pour juger de la prédominance de ces radiations N_1 ou N, on décompose le faisceau en le réfractant dans un prisme d'aluminium et on étudie les propriétés des parties inégalement réfractées, tout comme on peut le faire en soumettant ce faisceau aux déviations d'un champ magnétique, comme pour le faisceau radioactif ou le faisceau cathodique. On observe dans ce cas une partie correspondant au faisceau α et une partie au faisceau β, toutes deux déviées et un troisième faisceau partiel non dévié correspondant au faisceau γ, avec cette différence qu'il se réfracte dans un prisme en aluminium, n'étant pas aussi pénétrant que ce faisceau γ.

Suivant la prédominance et l'activité des rayons β ou α on observe des rayons N ou N_1; quant à la troisième partie, que l'on peut appeler N_2, elle redonne des rayons N ou N_1 par passage sur une substance émettant des rayons β et α; cela tout naturellement, puisqu'elle en subit et partage les propriétés.

[1] Voir *Nature intime de l'Electricité, du Magnétisme et des Radiations*, par A. Breydel (Librairie Dunod).

Cela nous conduit à dire quelques mots de ce qu'on appelle prétendûment rayons N et N_1 *induits*. Nous avons vu qu'il ne s'agit là que d'une excitation ; ainsi considérons une source quelconque de radiation, telle un fil incandescent, son induction N^{me} consiste simplement à mettre en activité les molécules du corps voisin.

Cette excitation se fait dans le sens de la ligne qui joint la source au corps mis en activité ; ainsi un morceau de quartz ou de brique insolés donnent dans la direction normale de l'insolation des rayons N et dans la direction perpendiculaire, c'est-à-dire dans le plan perpendiculaire à l'incidence, des rayons N_1 (fig. 3).

De même une pièce de monnaie mise à plat à la lumière donne des rayons N par la surface et des rayons N_1 par la périphérie.

La compression dans un sens correspond en effet à une dépression dans le sens perpendiculaire en vertu de l'élasticité. A propos de la déviation par un champ magnétique, on observe encore que les radiations influencent l'écran, quand elles traversent perpendiculairement les lignes de force et qu'elles émanent d'une lampe de Nernst, par exemple, mais non quand elles proviennent de l'acier trempé, larmes bataviques, bois comprimé, sulfure de calcium insolé, parce que dans le cas de la lampe de Nernst, comme nous l'avons vu, les deux genres de radiation N et N_1 se trouvent réunis.

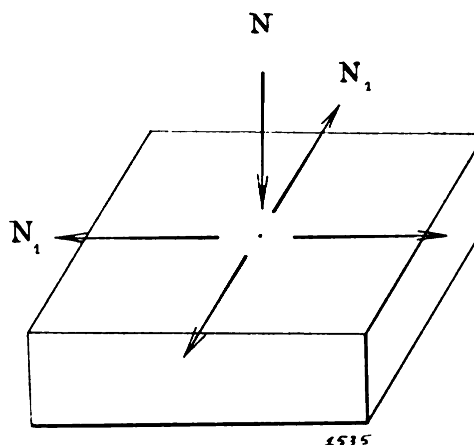


Fig. 3

Ces déviations dans le champ magnétique sont identiques à celles du flux cathodique décomposé dans les tubes à basse pression ; nous n'insisterons pas.

Le prétendu *emmagasinement* n'est également qu'une excitation durant un temps plus ou moins long, suivant la source et suivant la substance excitée.

L'acier trempé garde indéfiniment ses propriétés dues à la trempe, le caillou insolé reste plusieurs heures radiant, le sulfure de calcium peut rester plusieurs jours phosphorescent, une lentille d'aluminium donne des rayons N_1 pendant 24 heures après éloignement de la source, le verre de même, mais non le plomb, le cuivre, l'eau pure, alors qu'il en est encore ainsi de l'eau salée, d'une dissolution d'hyposulfite de soude, de la main même par suite du dépôt salin de la transpiration.

Cette excitation (induction ou emmagasinement) ne pénètre que lentement dans une masse ; ainsi, comme l'a vérifié M. Blondlot, si une face d'une lame de plomb de 2^{mm} est exposée pendant quelques minutes, cette face seule est active et il faut une exposition de plusieurs heures pour que l'activité atteigne la face opposée. Nous voyons ainsi qu'il s'agit bien là d'un mouvement atomique.

Les rayons N_1 sont arrêtés par le plomb oxydé ou le papier mouillé quand ils proviennent d'une lampe de Nernst, celle-ci donnant aussi des rayons N contrebalançant l'action des N_1, mais s'ils proviennent d'une autre source ne donnant que des N_1 ils peuvent traverser des planches de 10 centimètres ou du plomb oxydé de quelques millimètres d'épaissseur ou de l'eau sous une couche de 10 centimètres ; ils se propagent aussi par le carton, la paraffine, l'alûminium, le zinc, le fer, le cuivre, l'argent, le mercure, etc... On pourrait multiplier les observations; par contre, le platine sous une épaisseur de 1^{mm} ne les propage pas. La chose dépend essentiellement de la constitution moléculaire des substances interposées.

***

Les substances transparentes aux radiations les conduisent, tel un fil de cuivre, d'argent, etc.; ces mouvements se transmettent longitudinalement, comme des vibrations sonores ou autres; elles se propagent de molécule à molécule, d'où la dite *transparence* et la *conductibilité*.

Si le fil conducteur présente des points oxydés ou des torsions, ou des courbures à angle aigu, les radiations s'échappent par des points, tout comme l'électricité, sous forme d'effluves. Tout cet ensemble d'observations est un peu trop décousu et peu méthodique; mais nous saisissons cependant la nature réelle de ces radiations. Les rayons N_1 n'étant qu'une impulsion vibratoire, émergeant du corps qui en est la source et les rayons N étant une sorte de mouvement de concentration et convergeant vers la source et résultant de la réaction.

Une dernière expérience nous en donnera la preuve; considérons le plateau phosphorescent, les rayons N accentuent son apparence lumineuse, si nous regardons ce plateau normalement, c'est-à-dire perpendiculairement à sa surface et l'atténuent au contraire si nous regardons obliquement, c'est-à-dire tangentiellement à sa surface; les rayons N_1 agissent d'une façon absolument contraire (reportons-nous à la figure 3).

Les premiers sont produits par une pression à laquelle correspond transversalement une dépression; et les seconds sont engendrés par la dépression à laquelle correspond transversalement le phénomène contraire.

Il nous est permis maintenant de conclure; qu'est-ce que ces rayons N et N_1? Ce sont les directions suivant lesquelles se transmet un mouvement vibratoire de concentration ou d'expansion résultant de la réaction des excitations reçues. Cette définition, tout imparfaite qu'elle est, rend bien compte des phénomènes.

Si maintenant nous nous reportons à l'Electricité, ne voyons-nous pas qu'il existe la même chose pour les surfaces électrisées positivement et négativement, mais avec une force beaucoup plus vive (force électro-motrice), capable soit de permettre l'émanation de parcelles métalliques dans le sens du courant ou de la décharge, c'est-à-dire du corps chargé positivement vers l'autre et tout au moins d'ioniser le milieu ambiant, c'est-à-dire d'en projeter les parcelles devant servir de conducteur du positif vers le négatif.

Un corps électrisé ou un pôle peut donc être considéré comme un foyer de radiations dirigées de ce corps vers l'extérieur ou convergeant de l'extérieur vers lui, suivant qu'il est dit chargé positivement ou négativement.

Un courant électrique n'est donc que la transmission de cette impulsion entretenue d'une façon continue.

Cela nous permet de concevoir ce qu'est l'Electricité et l'idée que nous nous en faisons est confirmée par l'étude des radiations diverses de tous noms dont l'aurore de ce siècle nous a fait connaître la nature intime, ouvrant ainsi la voie à l'unification de la physique.

A. Breydel.

BREVETS

Système d'allumage pour lampes électriques à gaz ou à vapeur. — Brevet de **Stanwood E. Flichtner,** de Engelwood, N. J. — (Electrical Rewiew, août 1904).

L'invention a pour objet l'allumage des appareils électriques à gaz ou à vapeur, dans lesquels les électrodes, constituées par du mercure ou tout autre liquide conducteur, sont placées dans leur position normale l'une au-dessus de l'autre. Dans l'emploi de ces appareils, il est habituel de produire l'allumage, en prenant entre les bornes de l'appareil, ou à travers un filament destiné à l'allumage, ou par un autre moyen équivalent, un potentiel inférieur à celui qui est nécessaire à la marche normale de la lampe, cette source de potentiel élevé étant mise hors circuit, lorsque le résultat est obtenu, et l'appareil marchant alors à un régime de potentiel sensiblement moindre. L'inventeur indique les moyens de se dispenser de cette source de haut potentiel, et permettant de provoquer l'allumage en ne se servant que du courant normal distribué aux bornes de l'appareil. Le moyen consiste à renverser l'appareil de telle manière qu'une partie du mercure, ou d'un autre liquide conducteur, situé dans la cavité contenant l'électrode inférieure, puisse tomber dans l'ampoule de l'électrode supérieure, et que l'excédent soit renvoyé à l'électrode inférieure sous forme d'une veine liquide, pendant que le courant arrive aux bornes. Dans ces conditions, le jet du liquide qui tombe constitue un bon conducteur entre les bornes. Lorsque le liquide, agissant sous l'influence de la pesanteur, commence à se former en un jet ininterrompu au voisinage du point de chute du jet, le courant passe du mercure entourant l'électrode inférieure de l'appareil à l'extrémité de la portion ininterrompue du jet; comme ce dernier se transforme en une veine continue le courant suit la partie solide du jet jusqu'à ce que tout le liquide devant passer d'une ampoule à l'autre ait effectué son trajet. A ce moment, le courant passe directement d'une électrode à l'autre. L'appareil est organisé de manière à retenir dans l'ampoule supérieure une quantité de mercure ou de liquide conducteur suffisante pour former l'une des électrodes de l appareil.

L. M.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Les causes de déformation des courbes de tension dans les machines à courant alternatif. **Wangemann.** — (Electrotechnische Zeitschrift, 8 septembre).

Les courbes de courant et de tension de toutes les machines à courant alternatif et à courants triphasés s'écartent plus ou moins de la sinusoïde considérée comme normale. Les avantages et inconvénients des courbes déformées ne sont pas les mêmes pour tous les cas de la pratique. Les courbes pointues sont recommandables pour l'alimentation des transformateurs, parce que les pertes par hystérésis et le courant d'aimantation sont plus faibles qu'avec une courbe aplatie, en supposant des valeurs efficaces égales. Elles ont l'inconvénient de provoquer une plus grande chute de tension et d'exiger des isolements plus forts. Pour les lampes à incandescence et les moteurs, la forme des courbes offre peu d'intérêt. Au point de vue de l'éclairage par lampes à arc, les courbes aplaties sont préférables. Les courbes pointues sont dangereuses de formes car les harmoniques supérieurs peuvent donner lieu à des phénomènes de résonance, et produire des surtensions considérables dans les réseaux de câbles et les longues lignes de transport de force. Alors que, pour les machines à basse ou moyenne tension, la forme de courbe peut s'écarter sans grand inconvénient de la sinusoïde pure, dans les machines modernes à haute tension, dont la différence de potentiel aux bornes atteint 60 000 volts, c'est une condition *sine qua non* pour la sécurité d'exploitation que la courbe de tension et de courant ne soient pas déformées. C'est pourquoi

il est utile d'étudier les conditions qui provoquent une déformation de la courbe de tension.

Pour étudier les causes de déformation, il faut distinguer deux cas ; ou bien l'alternateur produit du courant ou bien il tourne à vide. Nous allons d'abord envisager ce second cas et nous verrons ensuite quelles modifications produit la mise en charge de la machine.

Un conducteur qui se déplace avec une vitesse uniforme dans un champ magnétique homogène et constant est le siège d'une force électromotrice sinusoïdale. Des déformations peuvent se produire lorsque la vitesse ou le flux varient. La valeur du flux dépend de la grandeur de la force magnéto-motrice et de la réluctance.

Si les inducteurs alimentés par un courant constant se déplaçaient dans un induit sans encoches ni trous, le flux resterait constant. Si au contraire ils tournent dans l'induit d'une machine moderne à encoches ouvertes, la réductance reste constante lorsqu'un pôle recouvre x encoches et x dents d'égale largeur, mais elle varie lorsqu'un pôle recouvre $2x + 1$ dents et encoches, de telle façon qu'il est opposé tantôt à x dents et $x + 1$ encoches, tantôt à x encoches et $x + 1$ dents.

La fig. 1 représente un pôle recouvrant x dents et x encoches. Admettons, ce qui est à peu près le cas des machines modernes, que l'induction dans les trous soit $\frac{1}{5} = \alpha$ de celle qui existe dans les dents ; quand le pôle va de AA en BB, CC, ...etc., le conducteur III_a par exemple pendant la 1re unité de temps rencontre $\frac{x}{5}$ lignes de force..., etc.

La force électromotrice produite en III_a et III_b pendant les différents chemins AB, BC, ...etc., est bien proportionnelle aux valeurs données dans le tableau suivant.

Les grandeurs de la force électromotrice produite sont portées sur la fig. 1 et montrent l'influence des dents. La courbe de f. é. m. contient plusieurs ondes superposées. L'onde principale des harmoniques supérieurs a la fréquence

$$y - 1 = a.z - 1$$

en désignant par y le nombre de dents par division, par a le nombre de phases et par z le nombre d'encoches par bobine.

Pour voir s'il est avantageux d'adopter une denture large ou étroite, il faut penser que, pour une induction constante, le flux total d'un pôle est

$$N = (x + \alpha x) yK$$

x désignant le flux par dent, αx le flux par encoche et K le rapport de la largeur polaire à une division. Pour la déformation de la courbe de

CHEMIN	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE EN		
	III_a	III_b	$III_a + III_b$
1 AB	$\frac{x}{5}$	—	$\frac{x}{5}$
2 BC	x	—	x
3 CD	$\frac{x}{5}$	$\frac{x}{5}$	$\frac{2x}{5}$
4 DE	x	x	$2x$
5 EF	$\frac{x}{5}$	$\frac{x}{5}$	$\frac{2x}{5}$
6 FG	x	x	$2x$
7 GH	$\frac{x}{5}$	$\frac{x}{5}$	$\frac{2x}{5}$
8 HI	x	x	$2x$
9 JK	$\frac{x}{5}$	$\frac{x}{5}$	$\frac{2x}{5}$
10 KL	—	x	x
11 LM	—	$\frac{x}{5}$	$\frac{x}{5}$
12 MN	—	—	—

f. e. m., la fréquence et l'amplitude des composantes supérieures entrent en jeu. La fréquence croît avec y, les amplitudes, déterminées par la

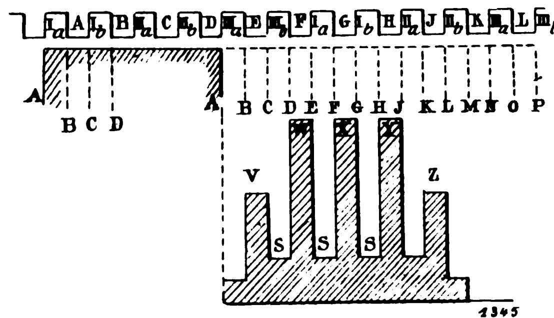


Fig. 1

valeur de x, sont inversement proportionnelles parce que :

$$(1 + \alpha)\, xyk = \text{const} = N$$

d'une façon générale, il est donc recommandable de choisir y grand, pour avoir de faibles oscillations supérieures, en admettant que le danger des phénomènes de résonance ne soit pas à redouter pour les ondes de grande fréquence.

Pour étudier l'influence de la saturation, il faut

songer que l'amplitude croît avec :

$$S = 2x - 2\alpha x = 2x(1 - \alpha).$$

La f. e. m., au contraire, croît avec la surface totale soit, dans le cas précédent, avec

$$8x + 10\alpha x = x(8 + 10\alpha).$$

Plus est grand le courant excitateur et plus est grande la f. e. m. et son amplitude. Le rapport :

$$\frac{\text{amplitude}}{\text{f. e. m.}} = \frac{2x(1-\alpha)}{x(8+10\alpha)} = \frac{2(1-\alpha)}{8+10\alpha} = f(\alpha), \text{ fonction de la saturation.}$$

Plus la saturation est forte, plus est grande la dispersion dans l'encoche et par suite α, et plus est petit le rapport entre l'amplitude et la f. e. m. On arrive au même résultat en considérant un cas limite. Si l'on choisit l'induction dans l'encoche aussi élevée que dans les dents, il n'y a évi-

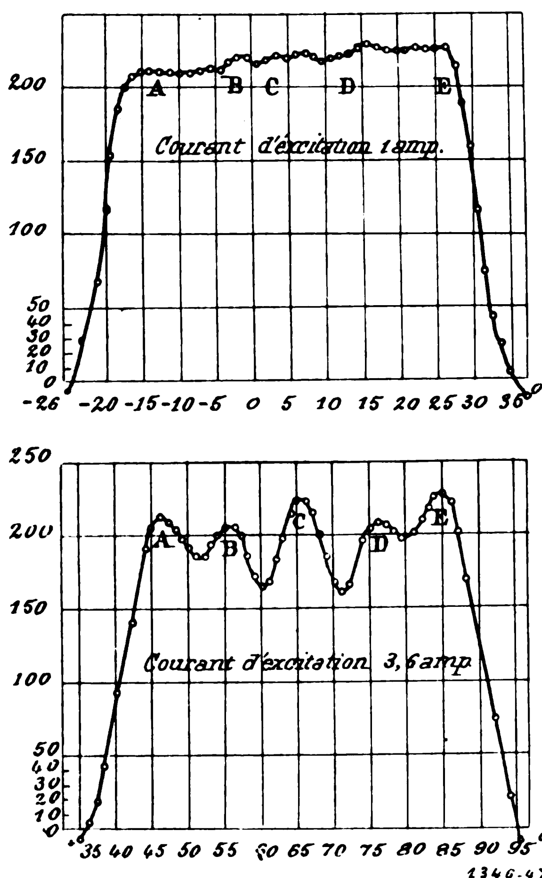


Fig. 2 et 4

demment aucune variation de vitesse du flux c'est-à-dire que l'amplitude des ondes superposées est nulle. Quoique ce cas limite ne puisse jamais être atteint en pratique, il donne quand même une indication sur la façon dont on peut diminuer l'amplitude. Les fig. 2 et 4 représentent la f. e. m. d'un alternateur triphasé à 2 bobines par pôle. Les nombreuses ondes superposées, correspondant à la grandeur SX, font paraître la courbe très irrégulière ; lorsque la saturation augmente, SX diminue très vite.

Les dents A B C D E dépendent de la variation de la réluctance magnétique, comme nous le montrerons plus loin. Elles se produisent lorsque le pôle recouvre $2x + 1$ parties. Dans la fig. 3,

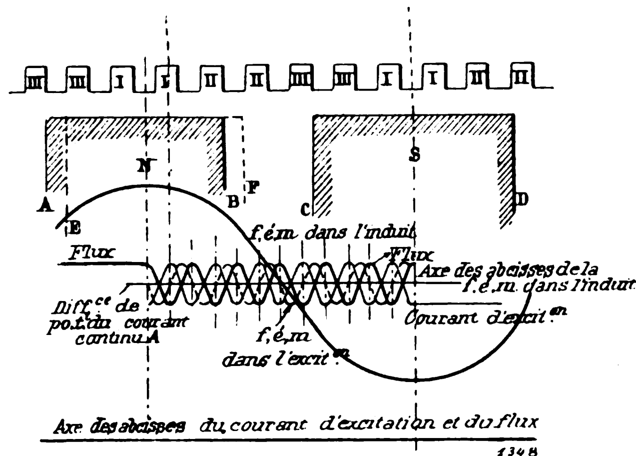


Fig. 3

lorsque le pôle N s'est déplacé de AB en CD, la f. e. m. a décrit 1/2 période. Pendant ce temps, le flux correspondant au nombre de dents varie.

Dans la position AB, le flux est considérable, parce que le pôle recouvre 5 dents ; dans la position EF il est faible. La fréquence de cette pulsation est égale à $2y$ fois la fréquence de la f. e. m. dans l'induit de l'alternateur, et cette variation du flux déforme la courbe. Dans le circuit d'excitation, il se produit aussi une f. e. m. par suite de la variation de l'induction, de sorte que le courant excitateur varie, quoiqu'il soit engendré par une différence de potentiel constante. La f. e. m. induite dans le circuit inducteur est décalée de 90° en arrière du flux : son action est opposée à celle de la différence de potentiel aux bornes lorsque le flux diminue, et est concordante avec cette dernière lorsque le flux croît. Cette f. e. m., produite dans les enroulements inducteurs, provoque un courant alternatif qui, par suite de sa fréquence élevée $2yn$ (N étant la fréquence normale de l'alternateur triphasé) et par suite de la self-induction très considérable, est décalé de 90° sur la f. e. m. et de 180° sur le flux.

L'impédance ayant une valeur élevée, le courant alternatif superposé a une faible intensité. Le courant dans les enroulements inducteurs est maximum quand le flux est minimum et réciproquement: il tend donc à aplanir les pulsations du flux. Mais comme, en réalité, les variations du courant excitateur sont très faibles, on peut les négliger, attribuer les déformations de la courbe de f. e. m. aux pulsations du flux seul, et considérer les valeurs momentanées comme les dérivées premières du flux en fonction du temps. Ce dernier peut être exprimé par la formule

$$A + B \sin 2y\alpha$$

en négligeant les composantes supérieures.

$$A = A' - \frac{B}{2} \qquad \text{(fig. 3)}$$

L'action des inducteurs sur l'induit suit la loi sinusoïdale et est égale à

$$(A + B \sin 2y\alpha) \sin \alpha = A \sin \alpha + B \sin \alpha \sin 2y\alpha$$
$$= A \sin \alpha + \frac{B}{2}[\cos (2y - 1)\alpha - \cos (2y + 1)\alpha]$$

La f. e. m. qui prend naissance dans l'induit est donc:

$$A \cos \alpha - \frac{B}{2}(2y - 1) \sin (2y - 1)\alpha + $$
$$+ \frac{B}{2}(2y + 1) \sin (2y + 1)\alpha$$

Il se produit donc, par suite des $2y$ pulsations dans le circuit inducteur, des ondes d'une fréquence :

$$2y - 1 \quad \text{et} \quad 2y + 1$$

qui se superposent à la courbe de f. e. m. Les amplitudes des ondes superposées sont déterminées par yB: il s'agit de voir si une grande valeur de y est avantageuse ou non. La force magnétomotrice peut être considérée comme constante, si l'on néglige les pulsations du courant excitateur. Le rapport du flux le plus faible au flux le plus fort est égal au rapport de la réluctance la plus faible à la réluctance la plus forte:

$$\frac{100 - B}{100} = \frac{\dfrac{w}{\frac{2}{3}y} + C'}{\dfrac{w}{\frac{2}{3}y - 1} + C'}$$

En supposant que la largeur d'un pôle soit égale aux $\frac{2}{3}$ du pas polaire et que

$$C' = wC.$$

Soit la réluctance magnétique du circuit d'excitation à l'exception de celle des dents et w la réluctance magnétique d'une dent.

Il vient alors :

$$\frac{100 - B}{100} = \frac{\dfrac{1}{\frac{2}{3}y} + C}{\dfrac{1 + C\left(\frac{2}{3}y - 1\right)}{\frac{2}{3}y - 1}} = \frac{\left(\dfrac{1}{\frac{2}{3}y} + C\right)\left(\frac{2}{3}y - 1\right)}{1 + \frac{2}{3}yC - C}$$

$$= \frac{1 + \frac{2}{3}yC - \dfrac{3}{2y} - C}{1 + \frac{2}{3}yC - c}$$

$$(100 - B)\left(1 + \frac{2}{3}Cy - C\right) = 100 + \frac{200}{3}yC - \frac{300}{2y} - 100C,$$

$$100 + \frac{200}{3}Cy - 100C - B - \frac{2}{3}ByC + BC = 100 + \frac{200}{3}Cy$$
$$- 100C - \frac{300}{2y},$$

$$\frac{2}{3}ByC = -B + BC + \frac{300}{2y},$$

$$\frac{2}{3}ByC + B - BC = \frac{300}{2y};$$

$$By = \frac{300}{2C\left(\frac{2}{3}y - 1\right) + 1},$$

By est une fonction de y dont les valeurs sont d'autant plus faibles que y est plus grand, c'est-à-dire que les amplitudes du $(2y - 1)^e$ ou $(2y + 1)^e$ harmonique de la courbe de f. e. m. dans l'induit sont d'autant plus faibles que le nombre de dents est plus élevé. La saturation aussi a, comme le montre la formule, une grande influence sur les amplitudes.

Nous avons posé :

$$C = \frac{C'}{w}$$

C' est déterminé en premier lieu par la résistance de l'air, et croît par conséquent d'une façon à peu près proportionnelle à l'induction ; par contre pour de fortes inductions dans les dents, W croît beaucoup plus vite. L'expression

$$C = \frac{C'}{w}$$

diminue donc très vite pour les saturations élevées, et la valeur de yB, où C est en dénominateur, croît très rapidement. La (fig. 4) représente la courbe de f. e. m. pour un courant excitateur de 3,6 ampères.

L'analyse mathématique des phénomènes, en tenant compte de la forme des pôles, de la dispersion, de l'entrefer et de la perméabilité, conduirait à des formules compliquées et inutilisables en pratiques. Mais on peut rassembler mathématiquement dans une seule expression tous les facteurs capables de produire une déformation de la courbe de f. e. m. à circuit ouvert. Cette expression, qui nous sera d'une grande utilité dans l'étude du cas où l'alternateur est en charge, est le coefficient d'induction mutuelle entre le système inducteur et le système induit.

Pour l'obtenir, on intègre la courbe expérimentale de f. e. m. en fonction du temps, en supposant que les pulsations du courant excitateur sont négligeables quand l'induit n'est le siège d'aucun courant.

$$E = -\frac{dN}{dt} = -\frac{dJ_0 m}{dt} = -J_0 \frac{dm}{dt}$$

$$Edt = -J_0\, dm$$

$$\int E dt = -J_0 \int dm = -J_0 m = f(t)$$

$$\int E_1 \sin(2\pi nt + \alpha_1)\, dt + \int E_3 \sin(6\pi nt + \alpha_3) \ldots\ldots = -J_0 m$$

En posant :

$$\frac{E}{J_0} = -e$$

il vient :

$$\frac{e_1}{2\pi n} \cos(2\pi nt + \alpha_1) + \frac{e_3}{6\pi n} \cos(6\pi nt + \alpha_3) \ldots\ldots = m.$$

Dans les machines à pôles alternés, l'origine et la fin d'une période se trouvent sur les axes de deux pôles non consécutifs, la courbe du coefficient d'induction mutuelle doit s'annuler sur l'axe du pôle intermédiaire, et ne doit donc point contenir d'harmoniques pairs. Le rapport entre les harmoniques supérieurs de la f. e. m. et du coefficient d'induction mutuelle croît ou décroît proportionnellement à l'ordre des harmoniques ; par exemple, l'amplitude du 7e harmonique de la f. e. m. est 7 fois plus grande que celle du 7e harmonique du coefficient d'induction mutuelle.

Une courbe aplatie du coefficient d'induction donne lieu à une courbe pointue de f. e. m. et réciproquement, puisque l'une des fonctions est en sinus et l'autre en cosinus.

Il faut remarquer que m peut être représenté par un groupe de courbes dépendant non seulement des détails de construction, mais de l'induction et de la dispersion. La première dépend des ampèretours d'excitation et des contre-ampèretours de réaction d'induit. A circuit ouvert, m est donc fonction du courant d'excitation et dépend de la position du système inducteur.

L'analyse des phénomènes est plus laborieuse lorsque l'induit est le siège d'un courant. En premier lieu, ce dernier produit dans les enroulements inducteurs, comme l'ont montré Boucherot (Lumière électrique 48) et Steinmetz (Wechselstromerscheinungen, 1900, p. 163), une f. e. m. et un courant dont la fréquence est double de celle du courant induit. La pulsation du courant inducteur, produite par la réaction du courant induit, provoque dans l'induit une variation du flux, de la f. e. m. et du courant dont la fréquence est triple de celle du courant induit primitif. S'il existe un décalage entre le courant et la tension, les phénomènes sont encore plus embrouillés. Les causes du décalage peuvent être partagées en deux groupes ; celles qui proviennent de conditions intérieures de la machine et celles qui proviennent de conditions extérieures. Le décalage dû aux causes du premier groupe entraîne :

1° Une diminution de la différence de potentiel aux bornes, un accroissement de l'impédance et, par suite, une déformation de la courbe de courant ;

2° Une réaction d'induit.

Contrairement à l'étude de Boucherot, qui attribue les deux actions différentes à la seule présence de la self-induction, il faut faire une distinction complète entre elles. La 1re action modifie la courbe de courant, et la seconde action modifie la courbe de tension. L'impédance dépend en premier lieu de la construction de la dynamo ; la réaction d'induit dépend en grande partie de la constitution du circuit extérieur.

L'impédance est maxima lorsque, pour un faible courant induit et, par suite, pour une faible saturation, la réluctance magnétique est minima. Au contraire, la réaction d'induit est maxima lorsque le courant induit est maximum. Les deux actions sont fonction du temps parce que la perméabilité du fer de l'induit varie avec l'induction et dépend non seulement du courant d'excitation et de la position des inducteurs, mais aussi du courant induit. Pendant une période, la réluctance varie deux fois, et l'onde de la réaction d'induit semble avoir une fréquence double de

celle du courant induit. Les contre-ampèretours dépendent alors du produit :

$$J_{arm.} M_{arm.}$$

où $M_{arm.}$ représente le coefficient de réaction d'induit, fonction du temps. Le flux dû au courant inducteur $J_{in.}$ engendre une f. e. m. égale au produit du courant instantané i par l'impédance R, diminué de l'influence des contre-ampèretours du courant induit $J_{arm.}$ et de la self-induction. Le coefficient d'induction mutuelle m, le coefficient de réaction d'induit M_{arm}, le coefficient de self-induction de l'induit $L_{arm.}$, $J_{in.}$ et $J_{arm.}$ sont des fonctions du temps. On a, par suite, l'équation suivante :

$$\frac{dm\, J_{in.}}{dt} iR + \frac{d\dot{m}_{arm.}\, J_{arm.}}{dt} + \frac{dL_{arm.}\, J_{arm.}}{dt} = $$
$$= i_n R + \frac{dZJ_{arm.}}{dt}$$

La grandeur Z résume toutes les actions du courant induit à l'exception de la variation d'excitation et offre un grand intérêt pour le praticien. La solution purement mathématique de cette équation est impossible, mais la courbe de Z peut être déterminée par l'expérience et avec l'aide de l'équation précédente. Pour cela, on détermine m, coefficient d'induction mutuelle à vide et on cherche expérimentalement l'allure du courant d'excitation J_{in}, de la différence de potentiel aux bornes iR, et du courant induit $J_{arm.}$ On peut ainsi déterminer Z par un groupe de courbes ayant pour coordonnées le temps, le courant d'excitation, et le courant induit. Pour chaque décalage φ on trouve un groupe de courbes différent.

(*à suivre*) B. L.

TRANSMISSION & DISTRIBUTION

Calcul de l'influence de la capacité, de l'induction et de la résistance dans les canalisations aériennes ou souterraines conduisant des courants mono, di, ou triphasés. — **Ehnert.** — (Zeitschrift fur Electrotechnik, 4 septembre).

Dans les transports de force à grande distance et dans les réseaux de câbles des distributions électriques urbaines, la self-induction et la capacité ont une action extrêmement fâcheuse. En outre, les longues lignes aériennes sont le siège de charges électriques dont la cause provient uniquement des phénomènes naturels.

En rassemblant toutes les actions, nous voyons qu'une ligne de transport à distance est exposée aux effets suivants :

1° Influence de la capacité ;
2° Influence de la self-induction ;
3° Influence de l'induction mutuelle ;
4° Charges statiques dues aux chocs de particules de l'atmosphère chargées d'électricité ;
5° Action à distance des décharges atmosphériques ;
6° Coups de foudre directs.

Toutes ces actions ont fait l'objet d'un nombre assez limité d'études et, à notre connaissance, on n'a encore développé aucun calcul théorique pouvant servir à l'établissement des systèmes de distribution.

Nous allons examiner les différents effets dans l'ordre indiqué et employer pour les différentes grandeurs les notations suivantes : toutes les valeurs qui se rapportent au circuit primaire seront affectées de l'indice p et toutes les valeurs se rapportant au circuit secondaire, de l'indice s.

Soient donc :

P	avec	l'indice	p	la puissance primaire en watts.
»	»	»	L tg	la puissance transmise à la canalisation.
»	»	»	s_n	la puissance utile secondaire.
»	»	»	l	la puissance secondaire absorbée pour la lumière.
»	»	»	m	la puissance absorbée pour la force motrice.
»	»	»	v.K.	la puissance absorbée dans le condensateur.
»	»	»	vL.	la puissance absorbée par suite de l'induction.
»	»	»	vw	la puissance absorbée par effet Joule.
Cos φ	»	»	l	le facteur de puissance pour l'éclairage.
»	»	»	m	le facteur de puissance pour la force motrice.
»	»	»	K	le cosinus de l'angle de décalage dû à la capacité.
»	»	»	L	le cosinus de l'angle de décalage dû à l'induction.
»	»	»	ens.	le cosinus de l'angle de décalage dû à l'induction totale.
»	»	»	moy.	le facteur de puissance moyen pour force motrice et lumière.
»	»	»	tot.	le facteur de puissance total de toute la transmission.
e	»	»	s	la différence de potentiel entre deux conducteurs au secondaire.
»	»	»	p	la différence de potentiel entre deux conducteurs au primaire.
»	»	»	v_w	la chute ohmique de tension.
»	»	»	v_{tot}	la chute totale de tension.
»	»	»	r_k	la force électromotrice de réactance de la capacité.

»	»	»	r_l	la force électromotrice de réactance de l'induction.
»	»	»	*imp*	la force électromotrice de réactance de l'impédance.
»	»	»	*r*	la force électromotrice de réactance de la capacité et de l'induction.
J	»	»	*l*	le courant pour la lumière.
»	»	»	*m*	le courant pour la force.
»	»	»	L_{ig}	le courant dans la ligne.
»	»	»	L	le courant de charge du condensateur.

R, *r*, les rayons des conducteurs en centimètres.
d, *a*, la distance entre les inducteurs en cms.

C	avec	l'indice	stat.	la capacité statique.
C	»	»	mag	la capacité magnétique.
p	»	»	*a*	la perte d'énergie en pour cent.
»	»	»	*e*	la perte de tension en pour cent.
R	»	»	K	la réactance de la capacité.
R	»	»	L	la réactance de l'induction.
R	»	»	tot.	la réactance totale.
W				la résistance d'un conducteur en ohms.
W	»	»	app.	la résistance apparente.
Q				la section des conducteurs en mm².
q				la charge électrostatique.

μ le coefficient d'induction spécifique ou constante diélectrique.
l la longueur de la ligne (aller seulement) en cms.
v la vitesse de l'électricité.
n la fréquence.
$\sim$ le nombre de périodes.
ω la vitesse angulaire.
LL'L'' les coefficients de self-induction.
K avec l'indice E la section des conducteurs en monophasé.
» — — Z la section des conducteurs en diphasé.
» — — D la section des conducteurs en triphasé.
c la conductibilité $= {}^1/_{57}$.
V le potentiel.
A le travail.

Avant de passer au calcul lui-même, nous allons, pour que l'étude soit plus complète, rappeler les formules qui servent au calcul des sections des conducteurs pour les systèmes particuliers.

On tire la section des conducteurs des formules suivantes :

1° Pour du monophasé

$$Q_E = \frac{3,5 . l . P_{sn}}{e_s^2 . p_e . \cos\varphi_{moy}}$$

ou

$$Q_E = \frac{3,5 . l . P_{sn}}{e_s^2\, p_a \cos^2\varphi_{moy}} \qquad \text{(fig. 1)}$$

2° Pour du diphasé

$$Q_Z = \frac{1,5 . l . P_{sn}}{e_s^2 . p_e . \cos\varphi_{moy}}$$

ou

$$Q_Z = \frac{1,5 . l . P_{sn}}{e_s^2 . p_a . \cos^2\varphi_{moy}} \qquad \text{(fig. 2)}$$

3° Pour du triphasé.

$$Q_D = \frac{1,75 . l . P_{sn}}{e_s^2 . p_e . \cos\varphi_{moy}}$$

ou

$$Q_D = \frac{1,75 . l . P_{sn}}{e_s^2 . p_a . \cos^2\varphi_{moy}} \qquad \text{(fig. 3)}$$

On suppose pour cela la même tension par phase. La longueur *l* doit être exprimée en mètres et Q en mm².

Si, au contraire, on désigne par $e_{1,\varphi}$ la différence de potentiel aux bornes des lampes pour le montage en étoile, la formule pour le cas du triphasé devient :

$$q_D = \frac{1,75 . l . P_{sn}}{3e^2_{1,\varphi} \cdot p_e \cdot \cos\varphi_{moy}}$$

ou

$$q_D = \frac{1,75 . l . P_{sn}}{3e_{1,\varphi}^2 \cdot p_a \cdot \cos^2\varphi_{moy}} \qquad \text{(fig. 4)}$$

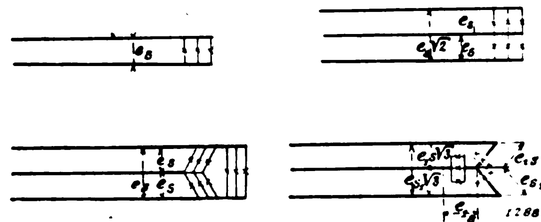


Fig. 1, 2, 3, 4

Les pertes en pour cent sont rapportées dans ces formules aux valeurs secondaires : on a par exemple

$$P_p = \frac{p_a}{100} P_{sn} + P_{sn}$$

et de même

$$e_p = p_e \frac{e_s}{100} + e_s .$$

La perte de tension est exprimée en volts et est naturellement $\sqrt{3}$ fois plus grande pour le montage en étoile que pour le montage en triangle, en supposant la même différence de potentiel aux bornes des lampes et les mêmes P_e et P_a.

Pour montrer l'emploi des formules et faciliter la compréhension de cette étude, nous allons développer l'exemple suivant : On a à transporter une quantité d'énergie telle que par seconde 1000 kilowatts soient disponibles. La distance à franchir est 50 kilomètres. La tension secondaire est 14000 volts et le facteur de puissance moyen,

****

tiré de la relation :

$$\cos \varphi_{moy} = \frac{(100 - x)\,{}^0/_0 \cos \varphi_m + x\,{}^0/_0 \cos \varphi_l}{100}$$

est égal à 0,8

$$\varphi_{moy} = 36°52'$$

x désigne la part de puissance affectée à l'éclairage, en pour cent de la puissance totale P_{sn}

$$x\,{}^0/_0 = \frac{P_l}{P_s}$$

En admettant 15 % de perte d'énergie, on obtient les valeurs suivantes :

1° Pour du courant monophasé

$Q_E = 95_{mm^2}$
$P_a = 14{,}736\,{}^0/_0$
$P_e = 11{,}789\,{}^0/_0$

ou

P_{vw} = 147360 watts
e_{vw} = 1660 volts
e_p = 15640 volts
P_p = 1,147360 watts
$\cos \varphi_{tot}$ = 0,765

2° Pour courants diphasés

Q_r = 35_{mm^2}
p_a = 17 % exactement
p_e = 12 % exactement
P_{vw} = 170000 watts
e_{vw} = 1580 volts
e_p = 15582 volts
P_p = 1.170.000 watts
$\cos \varphi_{tot}$ = 0,764

3° Pour courants triphasés

Q_D = 50_{mm^2}
p_a = 14 % exactement
p_e = 11.2 % »
P_{vw} = 140.000 watts
e_{vw} = 1568 volts
e_p = 15568 volts
P_p = 1.114.000 watts.
$\cos \varphi_{tot}$ = 0,766

La chute de tension est exactement proportionnelle à la perte en watts. Les résultats sont différents à cause de l'action de la capacité et de l'induction, comme nous allons le voir.

Etablissement des formules sur la capacité électro-statique,

Nous allons traiter cette question d'une façon tout à fait générale en supposant connue la théorie du potentiel. Soient m_1 m_2 m_3 .... les masses constitutives d'un corps placées à des distances r_1 r_2 r_3 .... d'un point P où se trouve l'unité de masse ; les masses constitutives agissent sur le point P et le potentiel du système total, par rapport à ce point, est :

$$V = \frac{m_1}{r_1} + \frac{m_2}{r_2} + \frac{m_3}{r_3} + \ldots + \frac{m_n}{r_n} = \sum \frac{m}{r}$$

Si ces masses constitutives sont reliées d'une façon quelconque, pouvant être géométriquement déterminée, et si m désigne la différentielle de la quantité totale d'électricité qui intervient, on a

$$V = \int \frac{m\,dm}{r}$$

quelques exemples simples montreront l'emploi de cette intégrale.

1er exemple. — Déterminons le potentiel d'une sphère au centre, en supposant que l'électricité est uniformément répartie sur la surface et pour une densité m par unité de surface (fig. 5).

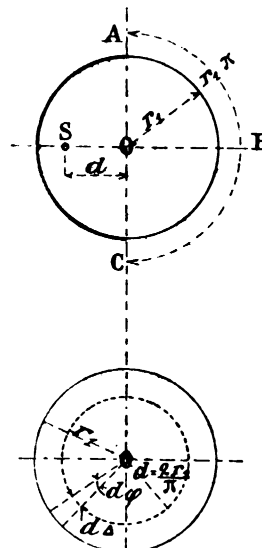


Fig. 5

D'après le théorème de Guldin, la surface de la sphère est :

$$S = (\pi r_1)\, 2\pi d$$

Le centre de gravité de la ligne ABC est à une distance

$$d = \frac{2r_1}{\pi}$$

de l'axe de rotation ; la surface de la sphère est donc :

$$S = \pi r_1\, 2\pi \frac{2r_1}{\pi} = 4r_1^2\pi$$

La surface d'une portion infiniment mince dS est, en désignant par d_Δ le chemin du centre de gravité.

$$dS = d_\Delta\, \pi r_1$$

et le potentiel de cette portion infiniment mince de surface au centre est

$$dV = \frac{m.d_\Delta.\pi r_1}{4}$$

Le chemin d_Δ est

$$d_\Delta = \frac{\text{Rayon} \times \pi d_\varphi}{180^0}$$

d'où

$$\frac{2r_1}{\pi} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot d\varphi = \frac{r_1 d\varphi}{90^0}$$

et

$$dV = \frac{m\pi r_1}{90} d\varphi$$

ou

$$V = \frac{m\pi r_1}{90} \int d\varphi = \frac{m\pi r_1}{90} (\varphi)$$

Intégrons dans les limites $\varphi = 0^0$ et $\varphi = 360^0$; nous obtenons le potentiel

$$V = m.\pi.r_1.4$$

Multiplions par $\frac{r_1}{r_1}$: il vient :

$$V = (4r_1^2\pi)\frac{m}{r_1}$$

Or $4r_1^2\pi$ était la surface totale de la sphère.

Donc $4\pi r_2^1 m$ est la quantité totale d'électricité sur la sphère c'est-à-dire q

Donc on a :

$$V = q\frac{1}{r}$$

Dans les leçons d'électricité on désigne par $\frac{q}{V} = c$ la capacité du corps.

La capacité d'une sphère est alors

$$C = r_1$$

comme r_1 est une longueur exprimée en centimètres, la capacité est exprimée en centimètres.

La formule donne la capacité statique : pour nos exemples pratiques nous avons besoin de la capacité magnétique C_{mag} entre les deux, on a la relation :

$$\frac{C_{stat}}{C_{magn}} = \frac{L^2 cm}{T^2} = v^2$$

v étant la vitesse de l'électricité.

Cette dernière est égale à celle de la lumière et est en chiffres ronds $3 \times 10^8 ms^{-1}$ ou, en centimètres

$$\text{dim.} \frac{C}{s} = 3.10^8.10^2 = 3\,10^{10} \text{ cm}$$

La capacité électro-magnétique est alors

$$C_{mag} = \frac{C_{stat}}{9.10^5} \text{ microfarads}$$

et la sphère a pour capacité

$$C_{mag} = \frac{r_1}{9.10^5} \text{ microfarads} \qquad (1)$$

2[me] *exemple :* Calculons le potentiel d'un segment de ligne l sur un point P qui lui est extérieur (fig. 6). A est la ligne.

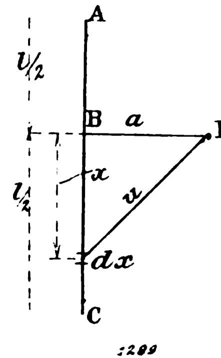


Fig. 6

Le potentiel de la portion de ligne dx est au point P

$$V = \frac{dxm}{u}$$

au lieu de u on peut introduire $\sqrt{x^2+a^2}$ d'où

$$V = m\int \frac{dx}{\sqrt{x^2+a^2}}$$

$$V = m\left[\log_{nat}\left(x + \sqrt{n^2+a^2}\right)\right]$$

entre les limites $-\frac{l}{2}$ et $+\frac{l}{2}$

$$V = m\log_{nat} \frac{\sqrt{a^2+\left(\frac{l}{2}\right)^2}+\frac{l}{2}}{\sqrt{a^2+\left(\frac{l}{2}\right)^2}-\frac{l}{2}}$$

Après quelques calculs et simplifications, nous trouvons

$$V = m\log_{nat}\frac{l^2}{a^2} \qquad (2)$$

3[me] *exemple :* Calculons le potentiel d'un cylindre sur l'axe (fig. 7). Faisons tourner la ligne enveloppante AC autour de l'axe : elle décrit une surface $2R\pi$ et la quantité d'électricité de cette surface est $2R\pi m$; introduisons de plus dans la formule 2 au lieu de a la distance de la ligne à l'axe $= R$: pour l'unité de longueur, $l = 1$ le

potentiel du cylindre est

$$V = (2R\pi m)\ 2\ \log_{nat} \frac{1}{R} \qquad (3)$$

et la capacité statique, pour la longueur l,

$$C = \frac{2R\pi m}{V} = \frac{l}{2\log_{nat} \frac{1}{R}} \qquad (4)$$

4me *exemple :* Calculons le potentiel de 2 cylindres en un point placé à l'intersection des lignes

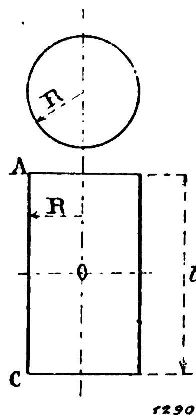


Fig. 7

médianes (fig. 8). Supposons que les cylindres aient des potentiels de signe contraire. On a la relation

$$V_{I,II} = (-V_I + V_{II}) = m.2 \left(-\log_{nat}\frac{1}{R_1} + \log_{nat}\frac{1}{R_2}\right)$$

multiplions par $2\pi\frac{l}{l}$ et par R_1 et R_2 : il vient

$$V_{I,II} = 2.\pi.m.2\frac{l}{l}\left(-R_1\log_{nat}\frac{1}{R_1} + R_2\log_{nat}\frac{1}{R_2}\right)$$

$$= -\underbrace{2\pi R_1 lm}_{M_1}\frac{2}{l}\log_{nat}\frac{1}{R_1} + \underbrace{2\pi R_2 lm}_{M_{II}}\frac{2}{l}\log_{nat}\frac{1}{R_2}$$

ou

$$V_{I\,II} = -M_1\frac{2}{l}\log_{nat}\frac{1}{R_1} + M_{II}\frac{2}{l}\log_{nat}\frac{1}{R_2}$$

Posons $M_1 = M_{II} = M$; le potentiel est :

$$V_{I\,II} = M\frac{2}{l}\log_{nat}\frac{R_1}{R_2} \qquad (5)$$

et la capacité du cylindre

$$C = \frac{M}{V} = \frac{l}{2\log_{nat}\frac{R_1}{R_2}} \qquad (6)$$

5me *exemple :* Calculons la capacité d'un fil de rayon R (fig. 9).

La charge électrique n'est que superficielle ; on peut donc se reporter simplement à l'exemple 3 en supposant le noyau absent.

Le potentiel était

$$V = \frac{2M}{l}\log_{nat}\frac{1}{R} \qquad (7)$$

et la capacité du fil est :

$$C = \frac{l}{2\log_{nat}\frac{1}{R}} \qquad (8)$$

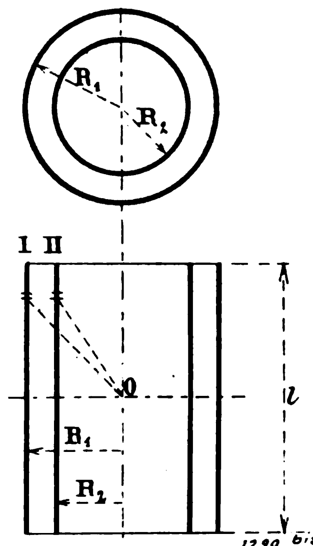


Fig. 8

6me *exemple :* Calculons la capacité ou le potentiel de deux fils parallèles reliés au même pôle (fig. 10).

Le premier fil I produit à l'intérieur un potentiel

$$V_1 = 2\pi Rlm2\left(-\log_{nat}\frac{l}{R}\right)$$

Le second fil produit un potentiel

$$V_2 = 2\pi Rlm2\left(-\log_{nat}\frac{l}{d}\right)$$

Les deux actions donnent

$$V = V_1 + V_2 = 2\pi Rlm^2\left(\log_{nat}\frac{l^2}{Rd}\right) \qquad (9)$$

$2\pi Rlm2$ est la charge des deux conducteurs. Donc

$$C = \frac{\text{charge des 2 conducteurs}}{\text{potentiel}} = \frac{1}{\log_{nat}\frac{l^2}{Rd}} \qquad (10)$$

7me *exemple :* Calculons la capacité et le potentiel de deux fils branchés en série et ayant des potentiels inégaux (fig. 11).

Le potentiel d'un fil est :

$$V_1 = \underbrace{2\pi R l m}_{q_1} \, 2 \log_{nat} \frac{l}{R} - \log_{nat} \frac{l}{d}$$

$$= q_1 \, 2 \log_{nat} \frac{d}{R}$$

Pour 2 conducteurs la quantité d'électricité est $q_2 = 2q_1$ et le potentiel $V_2 = 2V_1$

On a donc la formule finale

$$V = 2V_1 = (2q_1 = q) \, 2 \left(\log_{nat} \frac{d}{R}\right)$$

$$= 2q \, 2 \log_{nat} \frac{d}{R} \qquad (11)$$

et la capacité

$$C = \frac{q}{V} = \frac{1}{4 \log_{nat} \frac{d}{R}} \qquad (12)$$

8me *exemple :* Si dans le calcul des canalisa-

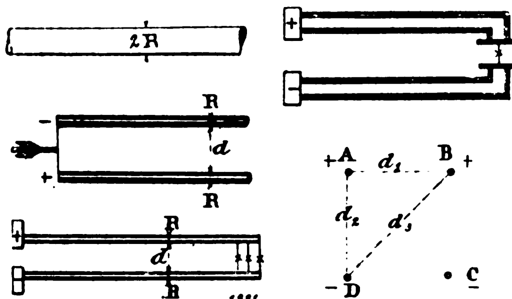


Fig. 9, 10, 11, 12

tions aériennes on arrive à des sections supérieures à 95^{mm^2}, on sépare généralement la section en deux et on emploie, par exemple, deux fils de 50^{mm^2} pour chaque pôle : calculons le potentiel et la capacité d'une telle canalisation.

Nous avons deux fils parallèles mis en série avec deux autres fils parallèles (fig. 12).

Le potentiel de V_A est

$$V_A = q_A 2 \left(- \log_{nat} \frac{l}{R} - \log_{nat} \frac{l}{d_1} + \log_{nat} \frac{l}{d_3} + \log_{nat} \frac{l}{d_2} \right) = + 2q \log_{nat} \frac{R d_1}{d_2 d_3}$$

ou

$$V_A = - 2q \log_{nat} \frac{d_2}{d_1} \frac{d_3}{R_1} \qquad (13)$$

La capacité est

$$C = \frac{1}{2 \log_{nat} \frac{d_2}{d_1} \frac{d_3}{R}} \qquad (14)$$

(*A suivre*) B. L.

TRACTION

Le funiculaire de Palerme à Monréale. — **(Electrical Review,** août 1904).

Le funiculaire qui conduit de Palerme à la petite ville suburbaine de Monréale en Sicile présente un dispositif électrique intéressant. Monréale est une petite ville située à une hauteur assez considérable ; elle est très fréquentée par les touristes, aussi bien pour sa cathédrale que pour le magnifique panorama qui se développe à ses pieds. Il était donc tout indiqué de relier ce point de vue par la traction électrique au réseau de la ville même de Palerme. Ce programme a été réalisé d'une façon spéciale, en engageant les voitures de Palerme directement sur la montée, sans qu'il soit nécessaire d'employer deux types de voitures. La ligne mesure en projection horizontale 6700 pieds, et la station d'arrivée est à 604 pieds au-dessus de la station de départ. L'installation a été faite par la Cie continentale de Nuremberg et la Cie Schuckert.

Le problème consistait à se servir sur les hauteurs de Monréale des mêmes voitures que celles qui circulent dans Palerme, sans être obligé d'apporter aucune modification dans leur construction, pouvant consister tant en l'adjonction de freins spéciaux, qu'en appareils ordinairement employés en pays de montagne. Dans le cas actuel, le dispositif choisi consistait en une voiture de forme particulière connue sous le nom de *carro-freno*, ou voiture-frein, destinée à porter les freins, qui doivent posséder une grande puissance sur la pente, et de plus un moteur auxiliaire pouvant être employé en parallèle avec les moteurs de la voiture.

La ligne en forte pente, dont il s'agit d'assurer le service, est divisée en trois sections. La première, d'environ 656 pieds de long, prend son origine à la station inférieure de départ, et est à simple voie ; la seconde, ayant une longueur de 3540 pieds, est à deux voies, le rail du milieu étant commun. La troisième section est sur la hauteur ; elle est à simple voie, et a 2612 pieds de long dont 1640 dans la ville même de Monréale. Dans la section du milieu, qui est à double voie, se trouve entre les rails de la voie principale une voie de largeur moindre sur laquelle se meuvent les voitures-freins. Cette deuxième section a une pente assez raide de 10 à 12 pour cent, tandis que les deux sections de bout ont respectivement une pente de 8 et 10 %.

La forte pente de la section du milieu ne permet pas l'emploi de traction par simple adhérence, surtout par un temps humide ; il était donc indispensable d'employer l'artifice qui caractérise cette installation, et qui est le suivant : Lorsque les voitures se présentent aux extrémités de la section du milieu, l'une pour monter la pente, l'autre pour la descendre, elles sont chacune couplées à l'une des voitures-frein. Ces deux dernières sont reliées l'une à l'autre par l'intermédiaire d'un câble en acier qui passe sur une poulie située en haut de la ligne ; les voitures-frein prennent de la même manière que les voitures motrices, le courant sur le trôlet qui se continue le long de la pente. Cette disposition permet au train descendant de remorquer sur l'autre voie le train ascendant à l'aide du câble.

Un tel système, comparé au système à crémaillère communément employé dans de tels cas, présente l'avantage considérable, qu'il exige une moindre puissance de traction, puisque le poids de la voiture-frein descendante fournit une partie de la force. Le reste de la force nécessaire pour actionner ces trains est donné par les moteurs de la voiture descendante, et aussi par le moteur de la voiture-frein. Il est donc possible de limiter la puissance des moteurs à celle des types usuels pour la traction en remplissant la condition que les mêmes voitures serviront en ville et sur la ligne allant à Monréale. Cela présente de plus l'avantage d'éviter le transbordement des voyageurs, et d'avoir un système unique.

Les voitures-freins sont pourvues d'un jeu de freins pouvant être manœuvrés chacun à la main, ou automatiquement, dans le cas où l'effort de traction dû au câble viendrait à manquer. Les voitures motrices sont toujours accouplées aux voitures-frein au côté du bas de la pente. Le couplage et découplage sont rapides, et se font de la manière suivante :

Lorsque les deux voitures-freins sont au repos, elles sont situées en contre-bas de la voie principale dans des cavités spécialement réservées à cet effet aux extrémités de la pente. De la sorte, une voiture venant de Palerme pourra passer au-dessus de la voiture-frein et la dépasser d'une longueur de six à huit pieds. Au même moment, une voiture venant de Monréale apparaît au haut de la pente, et dépasse en sens inverse la deuxième voiture-frein à laquelle elle est attelée. Le train du haut, ainsi formé, descend alors la pente jusqu'à ce qu'il ait, par l'intermédiaire du câble, fait sortir la voiture-frein du bas de sa remise, et l'ait amenée à une position telle qu'on puisse l'accoupler à la motrice venant de Palerme. Les deux trains ainsi formés sont mis en marche en sens inverse, l'un tirant l'autre. Au milieu de la pente, le rail commun est dédoublé sur une courte distance, afin de permettre aux deux trains de se croiser. Lorsque le train du bas arrive au haut de la pente, la voiture motrice est découplée et continue son chemin vers Monréale par ses propres moyens, tandis que la voiture-frein, rentrée dans sa remise, est prête à redescendre la pente avec une autre voiture. Pendant le même temps, la voiture descendante est dételée, et roule par trôlet vers Palerme, tandis que la voiture-frein attend une nouvelle voiture motrice pour effectuer son ascension.

Le câble passe sur une poulie horizontale de 10 pieds de diamètre, située dans la station du haut de la montée, de sorte qu'il tient le milieu de chaque voie. Il est guidé en ce point par un jeu de quatre poulies de renvoi dont deux sont horizontales, et deux verticales. Ces dernières sont logées dans deux cavités disposées sous la partie médiane de la voie, au point où la voie unique se divise en deux parties. Le long de la montée, le câble est guidé par des poulies de plus petit diamètre et situées entre les rails à égale distance les unes des autres.

Les voitures motrices employées dans Palerme et sur l'embranchement conduisant à Monréale, sont du type à deux essieux et à quarante places. Chaque voiture est à deux moteurs Schuckert. Le poids total d'une voiture vide est de huit tonnes environ. Deux systèmes de freinage complètent l'agencement de la voiture, l'un étant un frein à main, et le deuxième étant obtenu par la mise en court-circuit des moteurs.

La voiture-frein a quinze pieds de long (cinq mètres de tampon à tampon), et des roues de 2 pieds 3 pouces de diamètre. La distance entre essieux est de 5 pieds 3 pouces. Cette locomotive porte un seul moteur à quatre pôles, dont l'axe commande par engrenage à vis sans fin deux autres axes. L'un de ces derniers commande l'essieu principal de la voiture par train d'engrenage habituel. La cabine du wattman est à l'avant et contient les appareils de commande électrique pour le moteur et les leviers de freins. Deux freins puissants sont montés sur la voiture. L'un est

manœuvré à la main, et l'autre est relié au câble de traction par un dispositif particulier permettant à l'aide d'un contre-poids de le faire agir automatiquement dans le cas où le câble ne serait pas tendu ; ces deux freins doivent être exceptionnellement puissants.

Depuis que ce système a été livré à l'exploitation de Palerme à Monréale, il a fonctionné avec succès. Mr Piazzoli, directeur de la Societa Sicula, qui s'occupe des lignes de traction à Palerme, a fait supprimer, cependant, le moteur situé sur la voiture-frein, la puissance motrice des voitures motrices étant suffisante pour la montée sans qu'il soit nécessaire de lui en adjoindre une autre.

Le courant nécessaire parvient d'une grande station centrale située au centre de Palerme laquelle centrale fournit le courant à toutes les lignes de traction de Palerme. Les machines génératrices sont au nombre de trois, actionnées directement par des machines à vapeur compound horizontales. Les génératrices sont à douze pôles ; l'armature, ainsi que le volant, est montée sur l'axe principal de la machine à vapeur. Elles peuvent fournir 600 chevaux, et produisent du courant continu sous 300 ou 600 volts. De chaque côté d'une armature, se trouve un commutateur. La station génératrice comporte également deux batteries, dont l'une sert au circuit d'éclairage et est destinée à fournir 300 volts en deux séries de 150 volts chacune. La deuxième batterie travaille comme batterie tampon en parallèle avec les génératrices principales, de manière à égaliser la charge et amortir les chocs ; cette deuxième batterie fonctionne sous 600 volts.

L. M.

ÉCLAIRAGE

Recherches expérimentales sur les lampes Nernst par **V. Gaisberg,** à Hambourg. (Elektrotechnische Zeitschrift, t. XXV. n° 41, 13 octobre 1904, p. 884).

L'auteur rend compte des essais de durée entrepris d'avril à juin de cette année, sur des lampes Nernst intensives « modèle B » de 110 volts. Dans ce modèle, le corps lumineux de la lampe est un bâtonnet droit, devant la spirale d'allumage posée à plat sur le socle de porcelaine. Les lampes d'essais furent prises au dépôt du Bureau Hambourgeois de l'Allgemeine-Elektricitats-Gésellschaft, sans qu'on eût occasion de faire un choix déterminé. Ces expériences devaient servir à fixer la durée d'utilisation des lampes, pour renseigner sur la possibilité de remplacer les lampes à incandescence à filaments de charbon par des lampes Nernst.

Les mesures photométriques furent exécutées dans la direction axiale des lampes pourvues de cloches en opale. Les brûleurs ont été choisis pour 95 volts et les résistances pour 15 volts. Pendant l'essai de durée, les lampes furent déconnectées deux fois par 24 heures, et remises de nouveau en circuit dès qu'elles étaient refroidies. Un enregistreur de tension montra que les variations de tension étaient faibles ; les courbes ne s'écartaient pas sensiblement des valeurs moyennes indiquées au tableau ci-après. La tension du réseau était par conséquent suffisamment régulière pour le service des lampes Nernst.

Le tableau contient les valeurs moyennes des mesures faites sur 10 lampes de chaque sorte, ou.

TABLEAU

NOMBRE DES LAMPES	DURÉE D'ALLUMAGE EN HEURES	TENSION MOYENNE AUX LAMPES EN VOLTS	CONSOMMATION EN WATTS	PUISSANCE LUMINEUSE DANS L'AXE DE LA LAMPE EN BOUGIES HEFNER	CONSOMMATION SPÉCIFIQUE EN WATTS PAR BOUGIE	DIMINUTION DU POUVOIR ÉCLAIRANT PAR RAPPORT A CELUI APRÈS 25 h EN %
Lampes intensives « Modèle B », 0,25 A, 110 V.						
10	0	111,0	30,7	19,7	1,6	—
10	25	109,3	29,8	14,4	2,1	—
10	50	110,1	30,5	12,3	2.5	14
10	75	109,9	30,0	12,4	2,4	14
10	100	109,	29,5	12,6	2,3	13
10	200	109,9	29,8	12,2	2,4	15
10	300	109,9	27,8	12,3	2,3	15
10	400	110,0	26,7	9,4	2,8	35
10	500	112,0	27,1	10,5	2,6	27
10	600	110,1	22,3	7,0	3,2	51
10	700	110,4	21,5	6,2	2,5	57
Lampes intensives « Modèle B », 0,5 A, 110 V.						
10	0	110,5	57,4	44,4	1,3	—
10	25	112,0	57,4	29,7	1,9	—
10	50	109,3	55,8	28,7	1,9	3
10	75	110,3	55,5	26,5	2,1	11
10	100	109,5	55,5	27,7	2,0	7
10	200	109,1	54,6	27,9	2,0	6
10	300	109,4	53,4	24,0	2,2	19
9	400	110,4	53,7	23,6	2,3	20
9	500	111,1	53,1	24,4	2,2	18
7	600	111,4	49,3	19,6	2,5	34
6	700	110,2	42,7	14.4	3,0	51

après que certaines d'entre elles furent brûlées, des mesures faites sur les lampes restantes. Pendant toute la durée de l'essai, on n'eut pas à changer de résistances.

Il ressort de ce tableau que le pouvoir éclairant

des lampes décroît considérablement pendant les premières heures d'allumage; il reste ensuite presque constant pendant un temps plus long, et enfin il diminue de nouveau rapidement. Cette puissance lumineuse initiale plus élevée, ne se maintenant que très peu de temps, ne peut être prise en considération pour estimer la valeur des lampes. Si l'on prend au contraire pour base des comparaisons la puissance lumineuse trouvée après 25 heures d'allumage, on constate pour la lampe de 0,25 A, après 300 heures, une diminution de 15 %, et pour la lampe de 0,5 A, après 500 heures une diminution de 20 % en chiffres ronds. Ces durées d'allumage, à partir desquelles se produisait un abaissement plus fort du pouvoir éclairant, peuvent donc, dans le cas présent, être prises comme durées réelles d'utilisation.

En dehors des mesures du pouvoir éclairant dans l'axe de la lampe, qui sont indiquées dans le tableau avec leurs valeurs moyennes, un certain nombre de mesures furent exécutées pour étudier la répartition de la lumière dans l'espace. Pour les petites lampes Nernst, on peut admettre sans grande erreur, d'après les résultats obtenus, que la puissance lumineuse des lampes possède la valeur moyenne indiquée au tableau, à l'intérieur d'un cône dont les génératrices font avec l'axe de la lampe, un angle d'environ 45°. Comme, pour la plupart des applications de ces petites lampes, c'est le rayonnement direct en dedans de ce cône qui est surtout à considérer, il semble admissible de comparer la consommation spécifique trouvée dans le tableau seulement pour une direction, avec celle des lampes ordinaires à filaments de charbon. Et alors, on constate que les petites lampes Nernst de 110 volts, à la fin de leur durée utile, c'est-à-dire après 300 ou 500 heures, ont encore une consommation moindre que les lampes ordinaires à faible consommation nouvellement mises en service.

L'auteur mentionne encore quelques mesures faites sur des lampes Nernst « modèle A », employées en service pratique. Il s'agit de lampes à corps lumineux vertical entouré par les spires d'allumage. Les brûleurs sont choisis pour 200 volts, les résistances pour 20 volts. 27 de ces lampes se trouvent en service dans une promenade publique de Hambourg; la tension du réseau est de 220 volts. Les mesures s'étendaient à l'intervalle de temps de février à décembre 1903.

Tous les brûleurs furent photométrés avant leur introduction dans le candélabre, et ils se trouvaient encore intacts, à ce moment, aussitôt après 300 heures d'allumage. Les valeurs moyennes des mesures exécutées de cette manière sont indiquées ci-après par les nombres qui ne sont pas entre parenthèses.

Consommation initiale	107 w.	(109 w.)
« après 300 (400) heures	103	(103)
Puissance lumineuse initiale	86 b. H	(87 b. H)
« après 300 (400) heures	60	(66)
Diminution de la puissance lumineuse	30 %	(24 %)
Consommation par bougie au début	1,2 w.	(1,3 w.)
« après 300 (400) heures	1,7	(1,7)

Pendant la durée des recherches, 163 brûleurs furent dépensés, dont 92, soit 56 %, brûlaient encore après 300 heures; les brûleurs endommagés pendant le transport au lieu d'utilisation entrent en ligne de compte. Cette consommation de brûleurs par dégradation mécanique fut assez importante, parce que le personnel de service était changé fréquemment et n'avait par suite qu'une pratique insuffisante pour les soins à donner aux lampes.

Plus tard, les brûleurs furent changés seulement après 400 heures d'allumage. Les valeurs moyennes trouvées alors par des mesures faites sur 18 brûleurs sont indiquées ci-dessus par les chiffres entre parenthèses. Ces valeurs sont un peu plus favorables que celles précédemment mentionnées, peut-être à cause d'améliorations apportées aux brûleurs livrés plus tard, mais probablement surtout par suite de divergences accidentelles. En tout cas, les dernières mesures montrent que la durée utile des brûleurs peut encore être prolongée.

Pendant la durée des essais, une seule résistance fut remplacée en service normal.

J. H

ÉLECTROCHIMIE

***Traitement électrolytique des fers-blancs.* — J. Kershaw. — (Electrical Review, N. Y., t. XLIV).**

Depuis quelques années, la récupération de l'étain des vieux fers blancs par voie électrolytique est devenue une industrie électrométallurgique importante. Suivant les plus récentes statistiques, l'Allemagne possède huit usines établies à cet objet et traitant annuellement plus de 30.000 tonnes de fers-blancs. L'étain récupéré n'entre que pour 3,5 p. 100 dans ce poids, mais

le fer débarrassé de l'étain est vendu aux fonderies. Des usines du même genre existent également en Autriche, en Angleterre et en Amérique, et les divers procédés qu'on y exploite ne manquent pas d'intérêt pour les électriciens.

Le brevet anglais de Claus (1895) consistait à employer le recouvrement en étain comme anode dans un électrolyte formé de sulfostannate de sodium, de densité égale à 1,07 et chauffé à 90° 6. Ce procédé a été exploité quelque temps à Londres, mais ne paraît avoir eu grand succès.

Le procédé Garcia, où l'on dissout l'étain dans une solution de chlorure ferrique, semble avoir eu le même sort (1891).

En 1901, Gelstharpe fit breveter une méthode consistant à prendre comme anode la couche d'étain dans un bain contenant 1,25 p. 100 de solution d'acide hypochlorique, avec une faible quantité d'acide sulfurique. Une feuille d'étain servait de cathode, et le dépôt d'étain était fondu, après lavage. Le résidu en fer était transformé en sulfate ferreux cristallisé. Il ne semble pourtant pas qu'aucun des procédés employant un acide ou un mélange d'acides comme électrolyte soit susceptible de résultats durables.

Le procédé Goldschmidt est exploité avec succès, depuis plusieurs années, en Allemagne, mais on ne possède pas de renseignements sur son principe ; il est probable qu'on se sert de soude comme électrolyte. Les usines d'Essen, sur la Rühr, travaillent journellement sur 50 tonnes de fers-blancs.

Le procédé Leaver est également tenu secret et exploité à Swansea (Angleterre).

Les quelques autres procédés exploités en Autriche et en Allemagne paraissent tous dériver de la méthode alcaline, brevetée par Beatson en 1885 et 1890. Dans ces brevets, Beatson indique comme électrolyte une solution de soude caustique, de densité 1,21. Les déchets de fers-blancs y servent d'anode, et la cathode est formée de feuilles de tôle. Le dépôt pulvérulent d'étain était comprimé sous forme de galettes et employé comme anode dans un second bac électrolytique, où l'électrolyte était constitué par une solution concentrée de chlorure ou de sulfate d'étain. Les anodes étaient disposées verticalement près des parois du bac ; au centre se mouvait un cylindre de fer servant de cathode, le dépôt y était comprimé par un second cylindre roulant sur le premier. Ce procédé a subi des perfectionnements sans que le principe en ait été altéré. En Autriche, on emploie une solution de 10 à 20 p. 100 de soude caustique, à une température de 60° à 70° C. ; un courant de 800 ampères à 8 volts suffirait pour traiter de 10 à 12,5 tonnes de fers-blancs par semaine. L'électrolyte laisserait le fer intact et propre au travail métallurgique.

Le coût de l'énergie électrique nécessaire pour précipiter l'étain de la solution de stannate de soude est un peu élevé, puisque un courant de 10 ampères à 1,5 volts doit déposer 11,12 grammes d'étain par heure, à 70° C. Un kilowatt-heure déposera 733 grammes d'étain à la cathode. Avec un rendement électrolytique de 60 p. 100, il faudra 2.500 kilowatts-heures pour déposer une tonne d'étain. A raison de 0 fr. 10 le kilowatt-heure, l'énergie électrique dépensée par tonne sera de 250 francs, soit moins de 9 p. 100 de la valeur marchande de la tonne d'étain.

La soude caustique peut servir très longtemps avant que l'accumulation des impuretés en exige le renouvellement ; les frais de ce fait restent certainement peu élevés.

La principale difficulté du procédé électrolytique réside dans le caractère spongieux du dépôt, qui en rend pénible la transformation en lingots. D'après les renseignements qu'on peut obtenir, l'étain spongieux est d'abord soumis à la compression, puis fondu en présence d'un gaz inerte ou dans le vide.

De ce qui précède, il semble résulter que les procédés alcalins doivent donner lieu à une exploitation rémunératrice ; au contraire, les procédés à l'acide paraissent condamnés *a priori*, étant donné l'énorme proportion de sulfate ferreux que donnent ces méthodes et dont les débouchés sont très limités.

Avec quelques perfectionnements, la séparation de l'étain des fers-blancs semble être appelée à un grand avenir quand on songe à l'énorme quantité de vieux objets étamés abandonnés à la voirie, dans les grandes villes. Mais cette industrie ne prendra son véritable essor qu'au jour où les stations centrales des grands centres se seront adjoint une usine électrolytique, où seront traités tous les déchets de fers-blancs de la localité. L'Allemagne centralise jusqu'à présent ce produit qui lui est envoyé depuis l'Amérique ; la tonne de vieux fers-blancs vaut à New-York 25 francs, alors qu'on peut l'avoir à 3 francs à Liverpool.

P.-L. C.

DIVERS

Sur l'oscillographe Duddell.

Dans un de nos récents numéros nous avons publié une intéressante revue sur l'oscillographe Duddell, d'après le journal américain *Electrical Review*; mais, comme nous l'a fait observer un de nos lecteurs, l'article était incomplet en ce qui concerne l'historique de cet appareil, qui a été imaginé postérieurement aux oscillographes de M. Blondel décrits dès 1893. Il a été présenté en effet pour la première fois au Congrès de l'Association anglaise pour l'avancement des sciences à Toronto, au mois d'août 1897, et le mémoire de M. Duddell, qui le décrivait à cette occasion et qui a été reproduit dans *The Electrician* du 10 septembre 1897, page 637, s'exprime dans les termes suivants sur l'origine de l'appareil et la façon dont il a été exécuté :

« De tous les instruments qui ont été décrits « jusqu'ici, ceux qui ont fourni les meilleurs « résultats sont l'oscillographe de M. Blondel « ou quelques-unes de ses variantes. Dans le « mémoire original décrivant cet instrument [1], « M. Blondel, en discutant les méthodes utilisables, indique l'emploi d'un galvanomètre « d'Arsonval réduit à une suspension bifilaire « et c'est cette indication qui a servi de base à « l'instrument que je présente. Ayant eu, grâce « à l'amabilité du Prof. Ayrton et de M. T. « Mather, une large mine de résultats obtenus « quand je travaillais sur la question en 1895 et « 1896, je me suis décidé à essayer à faire un « instrument suivant les principes suggérés « par M. Blondel et le présent instrument est le « résultat de cet essai ».

Le volume de M. Duddell contient, en outre, une bibliographie très complète des appareils enregistreurs de courants variables réalisés jusqu'à l'année 1897. C'est donc par suite d'un lapsus, que tous nos lecteurs auront facilement reconnu, que, dans la revue mentionnée plus haut, l'oscillographe bifilaire était représenté comme une invention nouvelle; il est, du reste, bien connu en France depuis plusieurs années et de nombreux exemples d'oscillographes bifilaires, construits par la maison Carpentier ou par M. Dobkévitch, sont en usage dans les laboratoires électro-techniques français et étrangers, notamment à la Télégraph Electro Technische Reichsanstalt de Berlin. J. R.

[1] Blondel, Comptes-rendus, vol. CXVI, page 702 et 748, 1893.

Nouveau moteur à essence.

L'avenir est aux moteurs à essence, du moins pour les puissances relativement petites. L'automobilisme a été pour une grande part dans son développement; c'est lui que visent principalement les constructeurs. C'est lui aussi qu'a visé la Compagnie de l'Industrie Electrique et Mécanique de Genève, dans le très intéressant type qu'elle vient de construire.

Toutefois, son volume restreint, ses pattes d'attache, le groupement de tous ses organes, en font un modèle prêt à appliquer partout où le moteur à essence a fait preuve de supériorité.

La nouvelle machine se construit en deux grandeurs : un type 2 cylindres, d'une puissance de 8 — 12 HP, et un type 4 cylindres d'une puissance 16 — 24 HP.

Ces deux nouveaux types de moteurs à explosion possèdent, outre les avantages d'une grande simplicité et d'une robustesse à toute épreuve, les améliorations et les perfectionnements les plus récents apportés dans l'automobilisme. Les cylindres sont verticaux, indépendants et coulés d'une seule pièce avec la chambre d'eau. Leur alésage est de 105^{mm} et la course des pistons de 120^{mm}. Les soupapes d'admission (commande) et d'échappement sont rigoureusement interchangeables ; elles sont situées du même côté du cylindre.

La tuyauterie du moteur au carburateur, et celle d'échappement sont peu encombrantes et se détachent facilement en desserrant deux brides maintenues chacune par un seul écrou.

Le carburateur employé est du type Longuemare, avec soupape automatique pour le réglage d'air, laquelle permet de marcher à toutes les allures entre 200 et 1400 tours, avec l'aide du régulateur, sans autre réglage et sans ratés.

Le régulateur agit sur l'admission au moyen d'un étrangleur. L'accélération est produite en annulant l'effet du régulateur au moyen d'un ressort antagoniste.

L'allumage est produit par étincelle de rupture avec magnéto à faible vitesse Simms Bosch. Le dispositif de rupture à tige tombante a fait l'objet de tous les soins pour obtenir un organe simplifié, accessible, à l'abri des projections d'huile. Il se détache d'une seule pièce en desserrant deux écrous d'un tour seulement. L'avance à l'allumage s'obtient en déplaçant la came de rupture sur son axe. Ce dernier se trouve

disposé symétriquement à l'arbre des cames de distributions et leurs engrenages de commande se trouvent enfermés dans un carter facilement détachable et recouvrant également le régulateur. Ces moteurs peuvent être munis du second système d'allumage par accumulateur et bobine.

Le refroidissement est obtenu par une circulation d'eau intensive au moyen d'une pompe à engrenage, entraînée par la même roue que la magnéto. Ces deux organes, soient magnéto et pompe, sont fixés sur une table de posage, en sorte que tous les organes accessoires, y compris le carburateur, forment un bloc compact avec le moteur, tout en conservant à ce dernier un aspect très dégagé.

Le carter, coulé en aluminium, porte les pattes d'attache, très solides, à la partie supérieure. La partie inférieure est munie d'ouvertures, sorte de hublots, par lesquelles la visite des têtes de bielles peut se faire séparément et sans nécessiter un démontage complet.

L'arbre manivelle, muni de contrepoids destinés à obtenir l'équilibrage aussi parfait que possible, est forgé d'une seule pièce en acier au nickel chromé. Les manetons sont à 180° dans le type 2 cylindres. Entre chaque maneton de bielle, l'arbre est soutenu par un palier intermédiaire. Les fortes dimensions de ces arbres vilebrequins, qui étonnent à première vue, ont été justement établies en vue d'obtenir une grande résistance à l'usure de tous les coussinets et des parties frottantes.

Le graissage, partie importante et délicate pour tous les moteurs, a été spécialement étudié et constitue l'un des points les plus intéressants de ces nouveaux types. Il est produit par une petite pompe logée à l'intérieur du carter, commandée mécaniquement par l'arbre des cames. Une cavité située dans la partie inférieure du carter sert de réservoir. L'huile contenue dans cette cavité est refoulée sous pression par la pompe aux différents paliers de l'arbre. De là, elle pénètre à l'intérieur de ce dernier et arrive, conduite par la force centrifuge, aux têtes de bielles qui se trouvent ainsi dans un état de lubrification parfait. Une dérivation, prise sur la pompe, assure le graissage des autres parties, soit arbre des cames de distribution et arbre des cames d'allumage dont tous les coussinets sont munis d'anneaux graisseurs. L'excédent d'huile retombe dans le carter et, de là, s'écoule dans la cavité, pour de nouveau être aspirée et refoulée par la pompe. Dès que la provision d'huile tend à s'épuiser, le conducteur du moteur en est averti par les fluctuations de l'aiguille d'un petit manomètre auxiliaire. Un robinet à ouvrir et une mesure d'huile se vide dans le carter. De nouveau, le graissage est assuré pour plusieurs heures.

Cette disposition constitue, à elle seule, une grosse amélioration sur la plupart des moteurs existants, dont le graissage se fait par la méthode dite « barbotage » et où il est difficile de savoir, d'une manière précise, si l'on graisse trop ou pas assez et à quel moment on doit remettre de l'huile dans le carter.

Une poulie à courroie plate est disposée sur l'avant pour permettre la commande du ventilateur sur les voitures.

Quand nous aurons ajouté que les bielles sont en acier spécial estampé, que les parties composant ces moteurs sont toutes interchangeables, nous pourrons, sans crainte, affirmer que ce moteur est un des types les mieux conditionnés.

La construction a été établie de façon à permettre le démontage et la visite très rapides de chaque organe séparément.

D. B.

***Sur l'excitation électrique des nerfs par les courants alternatifs.* — W. Nernst et J. O. Barratt.** — (Zeitschrift für Electrotechnik, 26 août 1904).

Le fait que les courants de très haute fréquence n'exercent qu'une action physiologique relativement faible, a été établi par M. d'Arsonval ; un courant capable d'illuminer une lampe à incandescence ne produit aucun effet appréciable sur le corps humain, tandis que le même courant est toujours mortel, s'il est continu ou à basse fréquence. On a expliqué cette innocuité des courants de haute fréquence en disant qu'ils se déviaient à la surface du corps et ne pouvaient par conséquent agir physiologiquement. Cette explication est contredite par les considérations suivantes. De mauvais conducteurs, tels que les électrolytes de l'organisme humain qui sont des solutions aqueuses diluées, ne sauraient être comparés avec les conducteurs métalliques au point de vue de la répartition en surface du courant alternatif. D'autre part, l'expérience a établi que la résistance des électrolytes pour les

courants de haute fréquence était la même que pour les courants usuels.

La théorie suivante fait comprendre très simplement l'action relativement faible des courants de haute fréquence. D'après nos données actuelles, le courant, dans un tissu organisé, de même que dans un conducteur de nature électrolytique, ne peut avoir d'autre action que de provoquer un déplacement de ions, c'est-à-dire des changements de concentration. Il faut en conclure que la cause des effets physiologiques réside dans ce phénomène. Sous l'action d'un courant alternatif, les variations de concentration se produisent alternativement. Si leur valeur moyenne atteint une valeur déterminée, l'effet physiologique devient sensible. Il est possible de calculer ces variations moyennes sans faire d'hypothèse spéciale. On sait que, dans un tissu organisé, les solutions aqueuses qui constituent le conducteur électrolytique ne sont pas partout les mêmes et qu'elles diffèrent, notamment à l'intérieur et à l'extérieur des cellules. Une membrane semi-perméable amoindrit l'égalisation par diffusion ; près de cette membrane des variations de concentration peuvent survenir sous l'action d'un courant, tandis que, dans une solution homogène, le même phénomène n'a pas lieu, parce que dans chaque élément de volume et à chaque instant, la même quantité de ions cheminent en sens contraires.

Si un courant de densité 1 transporte une quantité de sel v, il y a simultanément migration inverse du sel par diffusion; la variation moyenne de concentration est ainsi déterminée par les effets inverses du courant et de la diffusion.

Soit un courant alternatif d'intensité $a \sin mt$, a étant l'amplitude, $\frac{m}{2\pi}$ la fréquence.

Ce courant apporte dans le temps dt, une quantité de sel $(va \sin mt)\, dt$, vers la membrane ; ce sel passe alors par diffusion de la membrane aux couches voisines, sans quoi des concentrations infiniment grandes ou infiniment petites se produiraient sur les faces de la membrane. Soit x, la position d'une section de courant salin déterminé par le courant électrique, pour $x = 0$, c'est-à-dire dans le voisinage immédiat de la membrane et en comptant x à partir de la membrane, on a

$$va \sin mt = -k \frac{dc}{dx},$$

k étant le coefficient de diffusion et $-k\frac{dc}{dx}$ la densité du courant de diffusion. A une distance suffisante de la membrane, la concentration reste invariable, c'est-à-dire que $c = c_0$ pour $x = \infty$.

L'équation bien connue de diffusion

$$\frac{dc}{dt} = k \frac{d^2c}{dx^2},$$

est valable en tout point.

Ces équations sont les mêmes que celles que Warburg obtint dans sa théorie de la polarisation des électrodes par le courant alternatif par suite des variations de concentration. Nous voyons qu'une membrane semi-perméable joue le même rôle qu'une électrode intercalée dans le circuit (conducteur intermédiaire).

Warburg donne l'intégrale des équations précédentes pour l'état d'équilibre :

$$C - c_0 = -\frac{av}{\sqrt{k}\sqrt{m}},$$

C étant la concentration dans le voisinage immédiat de la membrane $(x = o)$.

$C - c_0$, d'après les considérations précédentes, déterminerait l'excitation physiologique.

Pour qu'elle se produise, il faut que $C - c_0$ atteigne une certaine valeur A. Les conditions d'un effet physiologique seront données par

$$A \leqq \frac{av}{\sqrt{k}\sqrt{m}}.$$

D'après cette théorie, l'intensité du courant capable de produire une excitation *est proportionnelle à la racine carrée de la fréquence.*

Les expériences suivantes entreprises dans le but de vérifier ce théorème ont été faites avec le même générateur de courants alternatifs, qui fournissait des courants, sinon absolument sinusoïdaux, du moins de formes toujours comparables. Il consistait en un certain nombre de bobines disposées en cercle et munies d'un noyau de fil de fer devant les extrémités duquel tournait une couronne électromagnétique à 60 chevilles.

La machine était mise en mouvement à la main. On mesurait son voltage que l'on pouvait faire varier à volonté. Le courant traversait un rhéostat liquide. Deux fils de platine aboutissaient à la préparation d'un muscle de grenouille mouillé avec une solution saline. Une extrémité du muscle était fixe, tandis que l'autre pouvait agir

sur un bras de levier muni d'un petit miroir. La moindre contraction était constatée au moyen d'une lunette et d'une échelle.

Dans les tableaux suivants, i (observé) est l'intensité minima du courant capable de produire une excitation pour un voltage donné. La résistance du nerf et celle du rhéostat liquide étaient mesurées avant et après chaque série d'essais. Dans ces mêmes tableaux, V est le voltage en volts, w la résistance du nerf + celle du rhéostat en Ohms, $\frac{V}{w}$ donne l'intensité en ampères; n est la fréquence. Les valeurs de i (calculé) sont données par la formule :

$$i = c\,\sqrt{n} \text{ Micro-Ampère,}$$

dans laquelle c est une constante caractéristique pour chaque préparation. La température des essais était de 15 à 20°.

TABLEAU I

$C = 0{,}075$

V	$w\ 10^{-3}$	n	i observé	i calculé	Divergences %
0,77	686	200	1,12	1,06	— 5
1,42	803	550	1,77	1,75	— 1
1,44	817	632	1,76	1,88	+ 7
1,65	817	750	2,02	2,05	+ 1,5

TABLEAU II

$C = 0{,}102$

V	$w\ 10^{-3}$	n	i observé	i calculé	Divergences %
0,82	551	185	1,49	1,38	— 7,4
1,57	785	448	2.00	2,16	+ 8,0
1,50	551	545	2,72	2,38	+ 12,5
1,31	551	641	2,38	2,58	+ 8.4
1,78	551	947	3,23	3,14	— 2,8
2,10	551	1537	3,81	4,00	+ 5,0

TABLEAU III

$C = 0{,}079$

V	$w\ 10^{-3}$	n	i observé	i calculé	Divergences %
0,66	810	105	0,81	0,78	— 4,2
0,66	751	136	0,88	0.92	+ 4,6
1,68	779	485	2,16	2,21	+ 2,3
1,68	699	960	2,41	2,47	+ 2,9
2,24	582	2230	3,85	3,73	— 3,1

On voit que les divergences entre les valeurs calculées et les valeurs observées ne suivent aucune loi. Ces divergences, qui atteignent 8 à 12 %, ne sont pas excessives, étant donnée la difficulté de mesures simultanées et rapides de plusieurs quantités différentes. Dans le dernier tableau qui contient les mesures les plus soignées, les divergences sont constamment inférieures à 5 %.

On peut conclure que entre $n = 100$ et $n = 2000$, la loi de la racine carrée est vérifiée.

Pour vérifier la loi au-dessus de $n = 2000$, les auteurs ont essayé l'emploi de courants fournis par un arc chantant. Les valeurs observées pour $n = 6300$ à 6700, étaient de 30 à 120 % trop grandes. Ils supposent que ces courants sont impropres à ce genre de mesures, l'allure de leur courbe variant avec la nature et la longueur de l'arc.

C. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Sur la période des antennes de différentes formes. — Note de M. **C. Tissot**, présentée par M. G. Lippmann.

« Le procédé du miroir tournant ne permet pas d'obtenir avec précision la valeur de la période (en émission directe principalement) à cause de la valeur élevée de l'amortissement. Il ne peut d'ailleurs fournir que la période du système d'émission.

» Nous avons utilisé depuis, à diverses reprises, un procédé extrêmement général qui consiste, en principe, à exciter un résonateur fermé et à faire varier les constantes de ce résonateur de manière à le mettre en résonance avec le système étudié. Le résonateur se compose d'un cadre rectangulaire ou circulaire comprenant un seul

tour de fil, et d'un condensateur *à lame d'air* de capacité variable.

» La self-induction du cadre s'obtient par le calcul (comme dans les expériences classiques de M. Blondlot).

» Quant à la capacité, on la mesure aisément en valeur absolue en la comparant avec une résistance étalonnée à l'aide du dispositif bien connu du commutateur tournant. S'il s'agit d'une mesure à la réception, on excite le résonateur par l'antenne réceptrice et l'on intercale dans le circuit du résonateur un bolomètre de faible résistance.

» On peut opérer ainsi à plusieurs kilomètres du poste d'émission.

» Pour faire des mesures de périodes à l'émission, il suffit d'exciter directement le résonateur par l'antenne d'émission, en remplaçant le bolomètre, qui serait beaucoup trop sensible, par un ampèremètre thermique convenable.

» On peut aussi employer le bolomètre pour les mesures à l'émission en l'intercalant, non plus dans le circuit de résonance même, mais dans un circuit auxiliaire fermé très court, disposé dans le voisinage du circuit de résonance. Le résonateur ne comprend alors qu'une self calculable et une capacité sans aucune connexion auxiliaire : il est excité à faible distance par l'antenne.

» On vérifie d'abord les propositions suivantes qui justifient les méthodes de mesures employées, tant à l'émission qu'à la réception :

» 1° Lorsque deux systèmes A et B sont en résonance, le résultat obtenu pour la valeur de la période est le même, soit que l'on fasse la mesure sur l'émission en A ou en B, soit que l'on fasse la mesure sur la réception en B ou en A.

» 2° Lorsque deux systèmes A et B se trouvent en résonance avec un troisième C, ils sont en résonance entre eux et ont la même période.

La comparaison des périodes des antennes filiformes simples et multiples conduit aux résultats suivants :

» 1° La période principale d'une antenne filiforme simple correspond à une valeur de la longueur d'onde toujours supérieure à 4 fois la longueur de l'antenne.

» Le rapport $\frac{\lambda}{4l}$, qui est > 1, va en diminuant quand la longueur de l'antenne augmente et tend vers l'unité.

« On a par exemple :

Antenne	30^m	40^m	50^m	60^m	70^m
λ.......	131^m	170^m	210^m	250^m	286^m
$\frac{\lambda}{4l}$.....	1,09	1,06	1,05	1,04	1,02

» 2° Pour une antenne de longueur donnée, le rapport $\frac{\lambda}{4l}$ tend vers l'unité quand le diamètre du fil diminue.

3° Pour les antennes filiformes à branches multiples, le rapport $\frac{\lambda}{4l}$ est notablement supérieur à 1 : il croît avec le nombre des branches et l'écartement de ces branches.

» Pour une même longueur totale de $42^m,50$ on a trouvé :

1 fil ($d = 0^{cm},04$)	1 fil ($d = 0^{cm},35$	4 fils	6 fils
$\frac{\lambda}{4l} = 1,03$	$\frac{\lambda}{4l} = 1,06$	$\frac{\lambda}{4l} = 1,19$	$\frac{\lambda}{4l} = 1,26$

» 4° Le rapport $\frac{\lambda}{4l}$ est très sensiblement indépendant de la courbure générale de l'antenne et de son inclinaison sur la verticale.

» Indépendamment de la période principale, les antennes donnent naissance à des oscillations d'ordre supérieur [tout à fait analogues à celles des systèmes étudiés par M. Lamotte ([1])], qui obéissent aux lois suivantes :

1° Ces oscillations sont de degré impair et, dans les antennes filiformes, sont distribuées très sensiblement comme les harmoniques des tuyaux fermés.

» On a, par exemple, pour une antenne de 60^m où nous avons pu mettre en évidence trois harmoniques très nets, en désignant par λ', λ'', λ''' les longueurs d'onde supérieures et par λ_1 la longueur d'onde fondamentale :

$$\left(\lambda_1 = 240^m, \frac{\lambda_1}{4l} = 1,04\right):$$

	$\frac{\lambda'}{\lambda_1} = 0,334$	$\frac{\lambda''}{\lambda_1} = 0,205$	$\frac{\lambda'''}{\lambda_1} = 0,148$
Série harmonique...	0,333	0,200	0,143

» 2° Les rapports se rapprochent d'autant plus de la série harmonique que les antennes sont plus longues. On met d'ailleurs en évidence un nombre d'autant plus grand d'harmoniques que les antennes sont plus longues.

» 3° Les intensités vont en décroissant à mesure

([1]) LAMOTTE, Thèse : *Sur les oscillations électriques d'ordre supérieur*. Paris 1901.

que l'ordre s'élève, mais il semble que l'importance relative des harmoniques croisse avec la longueur de l'antenne.

» 4° Les oscillations supérieures existent aussi dans les systèmes à branches multiples, mais la loi de distribution est, en général, plus complexe, et s'écarte de la loi harmonique. Le phénomène se complique en outre du fait de l'addition des portions simples nécessaires à l'établissement des connexions. »

***Production de l'anthraquinone par oxydation électrolytique de l'anthracène.* — A. Fontane et M. Perkin.** — Communication présentée à la Faraday Society, le 9 mai 1904.

Les auteurs ont d'abord essayé d'oxyder directement, par électrolyse, de l'anthracène dissous dans un mélange d'acétone et d'acide sulfurique dilué ou dans un mélange de pétrole et d'acide sulfurique dilué, sans obtenir de bons résultats. Ils ont employé, ensuite, des sels servant de transporteurs d'oxygène, c'est-à-dire des sels pouvant céder facilement une partie de leur oxygène à l'anthracène et se régénérer avec l'oxygène libéré à l'anode; ils ont essayé les sels de cobalt, de nickel, de chrome, de thallium, de fer, de manganèse, de cérium. Les sels de chrome, de manganèse et de cérium ont seuls donné de bons résultats en solution acide.

En oxydant l'anthracène par l'intermédiaire de l'alun de chrome, ils ont obtenu un rendement de 81 % d'anthraquinone, en opérant de la façon suivante. Dans une solution contenant 100 gr. d'alun de chrome dans 800 cc. d'eau et 100 cc. d'acide sulfurique concentré, on introduit 30 gr. d'anthracène en poudre très fine émulsionnée préalablement avec de l'eau. Un vase cylindrique en plomb sert d'anode; la cathode est constituée par un agitateur en plomb ou en aluminium placé au milieu du vase et tournant à la vitesse de 500 à 800 tours par minute. La densité de courant est 1 amp. par dm^2 et la température 78-80° C. On augmente très peu le rendement en continuant à faire passer le courant après que la quantité théorique d'électricité a traversé l'appareil. Cette quantité théorique est 0,9 ampère-heure par gramme d'anthracène. Les résultats sont les mêmes, avec ou sans vase poreux.

C. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

***Prédétermination de la suppression des étincelles dans les dynamos.* — Waters.** — American Institute of Electrical Engineers. — 17-18 mai 1904.

Si l'on appelle l la longueur du noyau induit, n le nombre de tours d'une section, I le courant qui la traverse, f la fréquence de la commutation, on a une expression approximative de la force électro-motrice de self-induction dans la formule

$$E = ln^2 If$$

Cette formule ne tient pas compte de la self-induction des connexions extrêmes; et on ne peut songer à en trouver une qui soit d'une application générale à tous les types d'induits. Il y a cependant certaines conditions du problème qui se retrouvent dans tous les cas, et dont l'étude permet d'aboutir à des règles suffisamment générales pour pouvoir donner une idée de ce que sera la commutation dans un type de machine donné.

La première condition importante du problème de la commutation est la force électromotrice de self-induction. Si I est le courant dans une section, N le nombre de bobines en court-circuit en série, λ la self-induction d'une bobine, f la fréquence de la commutation, la force électro-motrice de self-induction est

$$V = \lambda NIf.$$

La self-induction λ se compose d'une part de la self-induction des conducteurs actifs et, d'autre part, de celle des connexions terminales. La première peut s'exprimer par le produit kl de la longueur du noyau par un facteur k dépendant des dimensions des entailles. L'expérience a démontré, après des essais sur un grand nombre de types, que le coefficient k pouvait être regardé avec assez d'exactitude comme une fonction du rapport

$$r = \frac{\text{largeur de l'entaille.}}{\text{hauteur de l'entaille.}}$$

Cette fonction se détermine graphiquement par le tracé de courbes d'essais.

La longueur des connexions terminales est peu différente du pas polaire p, et leur self-induction peut s'exprimer par le produit cp, et la self-induction d'une bobine sera de la forme

$$n^2 (lk + cp).$$

La force électro-motrice de self-induction sera

$$V = n^2 (lk + cp) \, NI f,$$

N, I ayant les valeurs connues, suivant le type d'enroulement.

L'autre condition essentielle du problème consiste dans les différences que présente la commutation elle-même, suivant les cas, et qui tiennent à l'emploi d'un petit nombre d'entailles, de plus d'une bobine par entaille et de sections inactives.

S'il n'y a qu'une section par entaille, le nombre des entailles n'influe pas par lui-même sur la commutation, à moins que ce nombre soit très réduit. Dans ce cas, en effet, la symétrie est parfaite tout autour de l'induit, et si la commutation peut être réalisée dans de bonnes conditions pour une section, elle l'est du même coup pour toutes les autres.

Mais si le nombre de segments est très petit, soit moins de six par pôle, les bobines se déplaceront dans un champ variant dans de grandes limites. Au moment de la commutation, des courants locaux de grande intensité se développeront sous les balais et détérioreront le collecteur par places sans étincelles apparentes. Ce fait ne se présente que dans les machines de très basse tension et il suffit, en général, pour l'éviter, de mettre au moins trois segments de collecteur dans l'arc extérieur à deux pièces polaires consécutives.

Quand on met plusieurs bobines par entaille, il en résulte, au point de vue commutation, une dissymétrie due : 1° à la différence de self-induction des diverses bobines ; 2° à la différence des conditions de la commutation.

La pratique démontre que, dans les machines modernes, la position de commutation correspond, dans presque tous les cas, à celle de champ résultant nul ; il en résulte que c'est plutôt la variation de résistance de contact des balais, que l'inversion de la force électromotrice qui décide de la commutation. Il n'y aura donc à considérer, dans le cas de plusieurs bobines par entaille, que la self-induction de la bobine qui possède la plus grande self-induction ; si pour une telle bobine la résistance variable au contact des balais permet une bonne commutation, il en sera de même à *fortiori* des autres bobines.

Mais le fait que les diverses bobines d'une entaille se trouvent à la commutation dans des champs magnétiques différents, entraîne des décalages de la commutation pour les diverses bobines. Et il est de même, si dans une entaille se trouve une bobine inactive ou de remplissage. En désignant par P et Q les coefficients de dissymétrie, que l'on est ainsi amené à introduire dans les formules et qui s'établissent aisément sur le croquis de la machine, la formule de la commutation devient

$$C = n^2 (lk + pc) \, NI. PQ. f.$$

Pour des machines de même type, ayant sensiblement la même induction dans les dents et où le rapport des ampèretours induits par pôle aux ampèretours exigés par les dents et l'entrefer est à peu près constant, les valeurs de C sont à peu près les suivantes : deux pôles, 20 ; quatre pôles, enroulement série, 35 ; six pôles, 50 ; quatre pôles, enroulement parallèle, 30 ; six pôles, 35 ; etc., vingt-quatre pôles, 50.

Les porte-balais et la densité de courant dans les balais jouent également un rôle important dans la production des étincelles. Les cornes polaires, si elles sont suffisamment éloignées et si leur forme donne un champ de commutation de variation régulière, n'ont pas grande influence quant à leur conformation sur la commutation sans étincelles. En ce qui concerne l'induction dans le noyau induit proprement dit, la constante de commutation pourra être beaucoup plus élevée si le noyau est saturé.

P.-L. C.

CONGRÈS DE VIENNE

Avantages et inconvénients de la traction électrique sur les lignes de Chemins de fer d'intérêt local par M. **H. Luithlen**, Commissaire en chef de l'Inspection générale des Chemins de fer autrichiens.

Il est hors de doute que seule la traction à vapeur peut encore aujourd'hui concourir avec la traction électrique et que seule elle mérite de lui être comparée ; en effet, d'un côté, la traction animale et la traction par câble appartiennent au passé ; d'un autre, les automobiles équipés de moteurs à explosion ou même aussi de moteurs à vapeur ne pourront jamais être d'une concurrence bien sérieuse pour la traction électrique.

La traction électrique est aujourd'hui presque exclusivement employée pour les tramways urbains et bientôt auront disparu sur les réseaux essentiellement urbains, à cause du bruit qu'elles

produisent et de la fumée qu'elles répandent, les quelques lignes à vapeur encore existantes; le monopole de la traction dans les villes appartiendra à l'électricité.

Aussi ne nous arrêterons-nous pas aux chemins de fer vicinaux ou tramways assurant un service de communications à l'intérieur des agglomérations.

Enfin nous pouvons éliminer dès maintenant de notre étude la traction par accumulateurs électriques; ce système de traction, par suite des graves inconvénients qu'il présente, tend en effet à disparaître complètement.

Notre étude comparative avec la traction à vapeur, ne portera donc exclusivement que sur la traction électrique à adduction de courant extérieur.

Avant de passer à cette étude comparative, nous devons faire remarquer que six compagnies seulement ont répondu au questionnaire de l'Union Internationale; aussi avons-nous dû, dans ce qui suit, puiser abondamment dans la littérature et faire appel à notre expérience personnelle.

Les avantages que présente pour les chemins de fer d'intérêt local, la traction électrique sur la traction à vapeur peuvent se subdiviser en 3 catégories bien distinctes.

1re Catégorie : Avantages qui sont avant tout appréciés par le voyageur, et amènent en conséquence une augmentation de trafic et par suite une augmentation de recettes.

2me Catégorie: Avantages résultant de la centralisation de la force motrice.

3me Catégorie : Economie dans les frais de premier établissement, dans l'entretien et dans les dépenses de traction.

Nous examinerons ces différentes catégories séparément et ferons aussi ressortir dans chacune d'elles les inconvénients inhérents à la traction électrique.

Faisons enfin remarquer que nous passerons sous silence l'un des principaux avantages de la traction électrique: celui de pouvoir fournir de grandes vitesses; cet avantage spécial à la traction électrique doit cependant rester en dehors de notre étude comparative: il ne peut pas, en effet, être pris en considération sur un réseau de chemins de fer d'intérêt local.

1re Catégorie: Avantages appréciés par le voyageur.

Il faut distinguer ici les deux facteurs suivants:

a) La traction électrique fournit au public une plus grande facilité de déplacement, en ce sens que l'on peut facilement augmenter le nombre des voyages en réduisant l'intervalle entre les départs.

b) Le maximum de vitesse étant déterminé, la durée des voyages est réduite par suite des démarrages rapides aux départs.

La multiplicité des départs et la réduction de la durée des parcours sont souvent deux conditions essentielles de vitalité, surtout pour les lignes de peu d'étendue. Le public sera en effet d'autant plus incité à se servir de ce moyen de locomotion que l'horaire de la ligne aura été mieux compris à ce point de vue.

Il est hors de doute que ces deux conditions de vitalité pourront être remplies dans un service à traction électrique beaucoup plus facilement que dans un service à traction à vapeur; la traction électrique présente, en effet, sur la traction à vapeur, l'avantage de pouvoir donner au trafic une plus grande intensité, sans cependant qu'il en résulte un accroissement de dépenses proportionnelles. C'est ainsi, par exemple, qu'après la mise à l'électricité des tramways provinciaux de Naples, le nombre de trains-kilomètres a augmenté de 140 °/₀, alors que l'accroissement des dépenses n'était que de 20 °/₀ seulement [1]

La traction électrique, par suite du meilleur coefficient d'adhérence, permet de produire un démarrage beaucoup plus rapide que celui obtenu par la traction à vapeur; cette circonstance se fait surtout sentir lorsqu'il s'agit de trains composés de plusieurs voitures motrices, auquel cas, le poids total du train peut, selon les besoins, être complètement utilisé pour l'adhérence.

Le coefficient d'adhérence est d'ailleurs également meilleur, lorsqu'il s'agit de trains remorqués par une locomotive électrique, car en admettant même un poids égal pour la locomotive à vapeur et la locomotive électrique, le coefficient d'adhérence est plus favorablement influencé par le mouvement uniforme de rotation du moteur électrique que par le mouvement de va et vient des organes de la machine à vapeur.

---

(1) L'application de la traction électrique au réseau des tramways provinciaux de Naples par Hector de Backer: *Revue universelle des mines*, tome LX, pages 246 et suivantes. 1902.

Cserhâti a calculé [1] que 26 à 30 % du poids de la locomotive électrique était utilisé comme force de traction alors que ce coefficient se réduisait à environ 16 % pour la locomotive à vapeur.

Il résulte d'articles parus dans les revues scientifiques que pour les 3 lignes électriques suivantes : Milan-Varese [2], Chemin de fer élevé de Berlin [3] et Liverpool-Southport [4], l'accélération au démarrage est respectivement de 0,35, 0,7 et 0,9 m. par seconde, alors que pour le Métropolitain de Vienne [5], il n'est atteint qu'une accélération au démarrage de 0,25 m. par seconde au maximum et de 0,17 m. par seconde en moyenne. Il y a cependant lieu de faire remarquer que le Métropolitain de Vienne comporte généralement des trains d'un poids relativement important.

. En ce qui concerne spécialement l'arrêt des trains, nous ferons remarquer que, sur ce point, on ne peut prétendre à une accélération de l'arrêt et partant, à une diminution de la durée du parcours en faveur de la traction électrique, car les moyens de freinage utilisés dans les deux cas sont à peu près analogues.

Il est également à remarquer que, pour les lignes présentant une certaine étendue, la durée du parcours par traction électrique sera écourtée, par suite de l'absence des arrêts toujours importants nécessités dans la traction à vapeur pour l'approvisionnement en eau.

c) La traction électrique présente encore un autre avantage : celui de pouvoir se plier avec facilité, grâce à la séparation de ses unités, aux petites variations qui se présentent chaque jour d'une façon à peu près régulière dans l'intensité du trafic ; le changement du nombre des voitures entrant dans la composition des trains est d'ailleurs surtout facilité par l'emploi du système à unités multiples.

Cet avantage de la traction électrique, avantage auquel certains accordent une assez grande importance, ne pourra cependant être mis en valeur que si l'on dispose d'un système de voies d'évitement permettant une mise en service ou hors service facile et rapide d'un grand nombre de voitures.

Nous parlerons plus tard du fait que la traction électrique ne paraît pas s'approprier particulièrement à un transport subit d'une très grande importance ; cette circonstance ne se présente cependant que fort rarement.

d) L'absence de fumée amenant avec elle une plus grande propreté dans le service, de plus la possibilité d'un éclairage plus facile et plus économique des voitures et des stations sont certes également des circonstances qui inciteront le public à donner la préférence aux lignes électriques, surtout dans le cas de deux lignes concurrentes, l'une établie à traction électrique, l'autre à traction à vapeur.

L'absence de fumée ne doit cependant pas être considérée au seul point de vue de la commodité du voyageur ; cette circonstance peut, en effet, être parfois une des conditions déterminantes dans le choix de la traction électrique ; tel sera par exemple le cas pour les lignes établies en souterrain, soit partiellement, soit totalement ; il est en effet reconnu que les gaz de combustion ont un effet néfaste sur toutes les parties métalliques (rails, organes de construction de la voiture, etc.).

Enfin, l'absence de fumée présente encore un grand avantage lorsqu'il s'agit par exemple de faire pénétrer une ligne non plus jusqu'à la périphérie d'une agglomération, mais jusqu'au cœur même de la ville ; cette condition de pénétration est pour maintes lignes souvent une condition essentielle de vitalité.

2e Catégorie : Nous passons maintenant à la deuxième catégorie d'avantages, c'est-à-dire aux avantages résultant de la centralisation de la force motrice.

Les avantages résultant de la centralisation de la force motrice se font surtout sentir lorsque l'on dispose d'une force hydraulique ; l'absence de charbon produit, en effet, dans ce cas, une diminution parfois très sensible des dépenses d'exploitation.

L'économie résultante sera d'autant plus grande que le prix du charbon sera plus élevé : c'est ainsi, par exemple, que sur le chemin de fer de la Valteline, dont la traction était jusque dans ces dernières années opérée par locomotives à vapeur, la dépense en charbon s'est montée à une moyenne de 235,6 centimes par 1000 tonne-

(1) *Glasers Annalen*, n° du 1er août 1903.
(2) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 11 février 1904.
(3) *Elektrische Bahnen* 1904, livraison 6.
(4) *Elektrotechnische Zeitschrift*, du 24 mars 1904.
(5) Conférence donnée par Hochenegg, le 17 février 1903, à l'Association autrichienne des Ingénieurs et Architectes.

kilomètres; grâce à la présence d'une station hydroélectrique, cette dépense se trouve aujourd'hui réduite à 65 centimes [1].

Mais même dans le cas où l'on ne dispose pas d'une force hydraulique, la centralisation de la force motrice présente plus d'un avantage: la production de l'énergie par les grandes installations des stations centrales est en effet plus économique que par les organes réduits de la locomotive à vapeur. Les surchauffeurs, l'utilisation d'une expansion multiple, les condensateurs, l'emploi d'eau propre et préalablement chauffée, sont autant de facteurs qui permettent aux installations fixes de travailler plus économiquement que les locomotives. Un autre inconvénient des locomotives à vapeur est que celles-ci ne travaillent souvent que par intermittence, d'où grandes pertes de vapeur et de chaleur.

De plus, les grandes chaudières permettent, grâce à certaines dispositions des foyers, l'emploi de charbon de moindre qualité; c'est là un grand avantage, lorsque surtout ces charbons peuvent être obtenus sans frais de transport trop coûteux, cas qui se présente notamment pour les usines de force situées en plein district minier. Nous pouvons citer comme exemple la lignite de la Bohême qui peut être obtenue à 1.60 couronnes [2] la tonne (poussier) à pied d'œuvre alors que la moindre qualité de lignite pouvant être utilisée pour le chauffage des locomotives ne peut être obtenue à moins de 4 couronnes la tonne.

Un autre avantage en faveur de la centralisation de la force motrice résulte du fait que les organes principaux de la locomotive à vapeur, c'est-à-dire la chaudière et les cylindres à vapeur, doivent être calculés pour la puissance maximum à produire, laquelle n'est utilisée que pendant un temps relativement court, alors que l'usine de force est calculée en prenant comme base non pas la somme des puissances maxima, mais bien la somme des puissances moyennes à produire; il en résulte ainsi une économie assez importante dans les dépenses de premier établissement.

Les perfectionnements apportés dans ces dernières années aux turbines à vapeur et aux générateurs à gaz, permettent d'espérer que l'économie résultant de la centralisation de la force motrice s'accentuera encore davantage.

La centralisation de la force motrice permet

(1) *Glasers Annalen*, 1er Août 1903.
(2) 1 couronne = 1.05 franc.

également d'utiliser le courant pour l'éclairage de la voie et le fonctionnement des machines-outils dans les ateliers de réparation; enfin, l'on pourra très favorablement élever le rendement économique de l'installation par la vente du courant à des tiers, et obtenir ainsi un intérêt plus rémunérateur du capital investi par l'entreprise. Lechner [1], dans une étude très intéressante, étudie particulièrement ce dernier point de vue et montre notamment comment le chemin de fer d'intérêt local Meckenbeuern-Tettnang a pu, par la seule vente du courant à des tiers, produire une augmentation d'intérêt du capital investi de 1,1 °/o à 3,2 °/o. Dans ce cas particulier, cette entreprise n'a donc pu retirer de son capital un intérêt rémunérateur que lorsqu'elle s'est décidée à utiliser le courant produit par son usine de force pour un but étranger à l'exploitation proprement dite de la ligne.

Un autre avantage de la force motrice résulte enfin de la possibilité de pouvoir récupérer, en force électrique, l'énergie produite par l'action du freinage, au lieu de voir cette énergie complètement annihilée en frottement. Ce problème a été maintes fois étudié et a reçu même plusieurs solutions pratiques, notamment sur des lignes à crémaillère [Barmen-Tölleturm [2], Trieste-Opcina, Chemin de fer de la Jungfrau [3]]. Sur les deux premières de cette ligne, les essais auraient été très satisfaisants et l'on serait arrivé à récupérer de 55 à 60 °/o de l'énergie produite lors de la descente des lignes. Les essais auxquels a procédé à ce point de vue le Chemin de fer de la Jungfrau, ne semblent pas avoir été décisifs, car la dernière locomotive électrique commandée ne prévoit plus la récupération de l'énergie produite par le freinage.

Il est probable que les difficultés encore existantes pour la récupération de l'énergie du freinage pourront être surmontées dans un avenir plus ou moins prochain; les difficultés actuelles se rencontrent surtout sur les lignes à adhérence.

Nous tenons cependant à faire remarquer que tout système de récupération présente par sa nature même un grave inconvénient: celui de ne pas rendre le freinage complètement indépendant du courant transmis par le fil ou le rail de travail.

(1) BAYER, *Industrie nu Gewerbeblatt*, 1902, Nos 15,16,17.
(2) *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 4. 1. 1902.
(3) *Zeitschrift für Elektrotechnik*, 1902, *Livraison 51*.

Aux avantages que nous venons de citer, doivent cependant être opposés quelques inconvénients.

La puissance d'une ligne électrique est limitée par l'importance donnée à l'usine génératrice et par les dimensions des conducteurs d'énergie; c'est là un facteur qui ne doit pas être pris en considération dans une ligne à vapeur. Il en résulte pour la traction électrique un inconvénient : celui d'être lié à un espacement minimum déterminé entre les trains roulant sur la ligne et à un poids maximum des trains. Passées certaines limites, la traction électrique présente donc un manque d'élasticité, ces limites d'élasticité dépendant du capital investi. Nous citerons à ce point de vue le cas de la ligne de Munich-Grünwald ([1]), exploité ordinairement à l'électricité, mais où, pour faire face aux affluences des dimanches et jours de fête, on emploie simultanément avec la traction électrique, la traction à vapeur; ce système mixte de traction à vapeur et de traction électrique présente l'avantage de ne pas devoir étendre outre mesure les installations de l'usine génératrice et les conducteurs électriques, lesquels ne desserviraient qu'un maximum de trafic ne se présentant que quelques fois par an seulement.

Il résulte de ce qui précède, que, d'une manière générale, la traction électrique ne semble pas être spécialement appropriée pour le trafic de quelques trains lourds, car l'usine génératrice devant dans ce cas être établie pour fournir une énergie importante, son rendement économique ne pourra être que peu élevé en ce sens que les installations de force ne seront plus qu'imparfaitement utilisées. Aussi est-il parfois recommandable de continuer à opérer le transport des marchandises au moyen de locomotives à vapeur, même après la mise à l'électricité du réseau pour les autres services.

Dans le cas de perturbations dans le service, les voitures ou trains viennent parfois se réunir sur un tronçon de ligne relativement court ; cet état de choses peut alors occasionner pour l'usine génératrice ou pour les conducteurs électriques une charge beaucoup trop grande, d'où pourraient, le cas échéant, résulter des inconvénients très graves.

La centralisation de la force motrice présente encore par rapport à un service par locomotives à vapeur, un autre inconvénient : la centralisation doit en effet être considérée comme une nouvelle source de perturbations, en ce sens qu'un défaut survenu soit à l'usine centrale, soit aux conducteurs électriques, soit encore le cas échéant aux sous-stations, peut immobiliser le service sur une partie du réseau, soit même sur le réseau tout entier. Il est hors de doute qu'une ligne à traction électrique, quelque bonne que soient ses installations, est plus sujette à des perturbations qu'une ligne dont le service s'opère par locomotives à vapeur.

Il résulte du rapport annuel du chemin de fer Burgdorf-Thun ([1]) que cette exploitation a subi pendant l'année 1902, plusieurs interruptions de service assez longues, dont certaines ont duré jusque 6 1/2 heures ; ces interruptions ont été dues à la chute des mâts supportant les feeders d'alimentation, à des mises à la terre, à des ruptures du fil de travail et à des défectuosités dans les voitures motrices. Sur la ligne à écartement normal de Milan-Varese ([2]), un orage a récemment interrompu le service pendant plus d'une heure.

Nous devons également comprendre dans cette catégorie, les inconvénients signalés dans sa réponse au questionnaire par la Société des chemins de fer vicinaux d'Aix-la-Chapelle: accroissement du danger par suite des ruptures de fil, des court-circuits, etc.; enfin les perturbations occasionnées par la présence d'une ligne électrique dans les réseaux téléphoniques et télégraphiques ainsi que dans les canalisations d'eau et de gaz. Ces derniers inconvénients se font ressentir surtout d'une façon particulièrement défavorable sur les réseaux de tramways urbains et ont motivé maintes fois des dépenses assez lourdes pour les exploitants; ces inconvénients ne présentent cependant pas une grande importance sur les lignes suburbaines et surtout sur les lignes établies sur un corps spécial de voie.

Enfin un autre inconvénient résultant de la centralisation de la force motrice, inconvénient qui, d'après les revues techniques, présenterait une certaine importance, serait la formation d'une légère couche de glace sur le fil de travail ou sur le troisième rail ; cette couche de

([1]) *Elektrische Bahnen*, 1903, livraison 3.

([1]) *Elektrische Bahnen*, 1903, livraison 3.

([2]) *Elektrische Bahnen*, 1903, livraison 2.

glace ne permettrait plus un contact parfait entre le fil de travail et l'appareil de prise de courant. Les différents systèmes proposés pour remédier à cet inconvénient, tels que l'échauffement du fil de travail par le courant (dispositif employé par le chemin de fer de Burgdorf à Thun) [1], le dispositif proposé par la maison Oerlikon [2] d'opérer la prise de courant sur la partie supérieure du fil de travail, enfin le nettoyage du troisième rail au moyen de grattoirs et de brosses, ou encore par un arrosage d'eau salée, tous ces dispositifs laissent supposer que cet inconvénient présente parfois une certaine importance.

3e Catégorie : La troisième catégorie des avantages de la traction électrique comporte, comme nous l'avons dit plus haut, une réduction dans les dépenses de premier établissement, dans les dépenses d'entretien et dans les frais de traction.

Il est évident, en effet, que dans de nombreuses circonstances les conditions plus favorables d'adhérence obtenues par la traction électrique, autorisant ainsi une inclinaison plus forte des pentes à gravir, permettront de choisir un tracé plus économique que dans les cas d'une ligne à vapeur; non seulement le tracé sera plus court, mais le cubage des terres sera moindre.

Comme exemple, nous citerons la ligne de Tabor à Bechnyn, en Bohême [3] ; cette ligne avait d'abord été projetée pour la traction à vapeur et les pentes devaient présenter une inclinaison maximum de 25 mm ; on se décida pour la traction électrique et la ligne put être établie avec des pentes maxima de 35 mm.; outre certains autres avantages importants, il fut même possible de descendre considérablement le niveau d'un grand pont qui devait franchir la vallée de Luznitz; la longueur du pont fut, de la sorte, réduite de 174 mètres et l'économie réalisée dans la construction de cet ouvrage d'art fut très importante.

La longueur des trains dans une exploitation électrique de chemins de fer vicinaux ou d'intérêt local étant généralement plus réduite que dans le cas d'une exploitation à vapeur, il sera dès lors possible de donner moins d'étendue aux stations. L'économie qui en résultera sera surtout sensible lorsque l'exploitation se fera par voitures motrices et que la manœuvre du train ou des voitures pourra se faire indifféremment des deux extrémités, car, de la sorte, on évitera les voies de manœuvre aux gares terminus.

Comme exemple montrant que, dans certaines circonstances, il n'est pas nécessaire d'établir dans les gares un système de voies de manœuvres aussi important que dans le cas d'une exploitation à vapeur ou, ce qui revient au même, que l'on peut parfois augmenter la puissance de trafic d'une ligne sans rien changer aux voies existantes par la seule application d'un service à l'électricité, nous citerons le cas de la ligne de Saint-Georges de Commiers-la-Mure [1]. Cette ligne, établie à simple voie et comportant un grand nombre de rampes allant jusque 27 mm, était arrivée à la limite de sa puissance de trafic; l'écartement étroit de la ligne rendait impossible la transformation des locomotives existantes en locomotives plus puissantes, capables de remorquer un poids plus lourd; d'un autre côté, le nombre des voies de garage, déjà très considérable, ne permettait pas, par suite de circonstances particulières, d'augmenter le nombre des trains. On se décida à ne rien changer à la voie, mais à substituer des locomotives électriques aux locomotives à vapeur existantes; ces locomotives électriques, grâce à leur coefficient d'adhérence plus favorable, purent être construites pour une force de traction supérieure et permirent ainsi d'augmenter le nombre des essieux.

Une autre économie résultant de la traction électrique, réside dans la possibilité d'établir une superstructure de voie plus légère, par suite de la charge par roue plus réduite des véhicules électriques et par suite de l'absence des mouvements de va-et-vient des organes de la locomotive à vapeur. Sur la ligne de Tabor-Bechnyn dont nous parlons plus haut, il avait été prévu un rail de 26 kg. au mètre courant, dans le cas d'une exploitation à vapeur ; la traction électrique permit d'employer un rail ne pesant que 21.75 kg. au mètre courant.

Enfin, la traction électrique ne réclame ni la construction de châteaux d'eau, rendus parfois très coûteux du fait de leurs installations mécaniques, ni l'installation de dépôts de charbon.

(1) *Elektrische Bahnen*, 1903, livraison 3.
(2) *Elektrische Bahnen*, 1904, livraison 9.
(3) Elektrische Lokalbahn Tabor-Bechnyn, opuscule par Fr. Krizik.

(1) *Elektrische Bahnen* 1903. Livraison 4.

Par contre, l'établissement d'une ligne électrique réclame un capital parfois beaucoup plus considérable pour la construction de l'usine de force et, le cas échéant, des sous-stations, et pour l'établissement du réseau distributeur du courant.

L'entretien de la voie en général, et de sa superstructure en particulier, est moins coûteux dans le cas d'une ligne électrique que dans le cas d'une ligne à vapeur, par suite des charges par essieu plus réduites pour la traction électrique. Sur la ligne électrique de Meckenbeuern-Tettnang l'entretien de la voie revient annuellement à 280 marks par kilomètre de ligne; ces dépenses se seraient élevées entre 400 et 500 Marks sur les lignes à vapeur [1]. Les dépenses supplémentaires nécessitées dans le cas d'une traction électrique, par l'entretien de l'équipement électrique des lignes, ne présentent pas une grande importance. Hecker [2] calcule, dans le cas de tramways urbains, 0. 1 pfennig par voiture-kilomètre pour la main-d'œuvre nécessitée par l'entretien du fil de travail.

En ce qui concerne spécialement l'entretien du matériel roulant, il est hors de doute qu'une voiture motrice électrique réclame beaucoup moins de réparations qu'une locomotive à vapeur. Il en est de même si l'on compare la locomotive à vapeur avec la locomotive électrique. Armstrong [3] estime, dans le cas de trains pesant 250 tonnes, les réparations de la locomotive par 1000 tonnes-miles à 25 cents pour la traction à vapeur et à 8 cents pour la traction électrique, soit donc seulement un tiers en faveur de la locomotive électrique.

Cserhàti [4] arrive au même résultat: il calcule pour l'entretien de la locomotive à vapeur 9 heller et 3 heller seulement pour l'entretien de la locomotive électrique. Cserhàti fait également remarquer avec raison que l'entretien, tout aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur des voitures d'une ligne électrique, sera beaucoup moins élevé à cause de l'absence des gaz de combustion, lesquels sont très nuisibles pour le maintien en bon état du matériel roulant.

Quant à la traction proprement dite, celle-ci est beaucoup plus avantageuse dans le cas d'une exploitation électrique, en ce sens que le poids mort présente une moindre importance. Dans le cas de voitures automotrices, par exemple, l'équipement électrique seul doit être considéré comme poids mort; d'un autre côté, dans une exploitation par locomotives, il est à remarquer que le poids mort par cheval effectif peut être regardé comme étant de 60 % plus réduit dans le cas de la traction électrique que dans le cas de la traction à vapeur [1].

D'autres économies peuvent encore être obtenues par l'exploitation électrique, notamment celles résultant de l'absence de personnel pour le service des châteaux d'eau et le transport du charbon. De plus, les voitures automotrices et les locomotives électriques ne sont desservies que par un seul homme, celui-ci pouvant facilement suffire à toutes les manœuvres. Les essais récents au moyen de brûleurs automatiques et au moyen du chauffage à pétrole, permettent cependant d'espérer que les locomotives à vapeur des lignes de chemin de fer d'intérêt local pourront, elles aussi, profiter prochainement d'une réduction du personnel desservant. Armstrong [2] admet, pour le personnel desservant les locomotives, même dans le cas où celles-ci seraient desservies par un seul homme, une économie de 60 % en faveur de la locomotive électrique; le rendement du travail serait meilleur en ce sens qu'il n'y aurait pas de temps perdu pour la mise à feu et que le personnel serait moins occupé par l'entretien de la locomotive.

Par contre, il y a lieu de prendre en considération les dépenses de personnel nécessitées pour le service de l'usine de force et pour celui des sous-stations. L'importance de ces stations est intimement liée au choix qui a été fait de la forme de courant: c'est ainsi par exemple que, dans le cas d'une ligne à courant continu, la question de vitalité d'une petite entreprise peut, dans certaines circonstances, dépendre des dépenses de personnel nécessitées par les sous-stations.

Après avoir examiné d'une façon générale les avantages et les inconvénients de la traction électrique, nous passerons au nœud de la question, c'est-à-dire à l'étude de la rentabilité.

D'après la Société des chemins de fer vicinaux d'Aix-la-Chapelle, l'un des inconvénients de la

(1) *Bayer-Industrie-u. Gerwerbeblatt*, 1902. n° 16.
(2) *Zeitschrift für Kleinbahnen*, avril 1903.
(3) *Street Railway Journal*, n° 3, 16/1 1904.
(4) *Glasers Annalen*, 1er août 1903.

(1) *Glase s Annalen*, 1er août 1903.
(2) *Street Railway Journal*, 16/1 1904.

traction électrique serait son coefficient d'exploitation plus élevé. A l'encontre de cette affirmation, nous ferons remarquer que, depuis la mise à l'électricité, le chemin de fer élevé du Manhattan a vu son coefficient d'exploitation descendre de 55, 38 % à 50,10 %; le chemin de fer élevé de South Side à Chicago (1) de 73, 6 % à environ 55 %, et enfin la ligne de Liverpool à Birkenhead (2) de 95,29 % à 86,84 %.

Il ne nous paraît pas possible de traiter la question de rentabilité d'une façon générale, car les conditions d'exploitation sont trop différentes d'un réseau à l'autre et, dans chaque cas particulier, il sera nécessaire d'étudier attentivement les différents facteurs en faveur soit de la traction électrique, soit de la traction à vapeur.

Rinckel (3) a étudié la mise à l'électricité de la Wannseebahn: il a cherché à montrer, par un simple calcul, lequel pourra d'ailleurs être souvent employé dans d'autres cas, que, dans le cas d'une usine génératrice à vapeur, la centralisation de la force génératrice, malgré tous les avantages que nous avons cités plus haut, ne produirait pas une diminution dans les dépenses de production de la force motrice. L'auteur précité prend par exemple un train de 200 tonnes, lequel sur la ligne de la Wannseebahn, dépense environ 15 kilos de charbon par train-kilomètre; en admettant pour le charbon un prix de 12 marks la tonne, la dépense en combustible serait d'environ 18 pfennigs par train-kilomètre; si, d'autre part, on ajoute 5 pfennigs par train-kilomètre pour l'eau et le graissage des organes, on arrive à une dépense de 23 pfennigs par train-kilomètre pour la traction à vapeur. D'un autre côté, le train-électrique demanderait sur la même ligne 200×32 watt-heures, soit 6,4 kilowatt-heures par train-kilomètre; le kilowatt-heure étant calculé à raison de 5 pfennigs, la dépense nécessitée serait de 32 pfennigs, c'est-à-dire une dépense plus élevée que dans le cas d'une traction à vapeur.

En poursuivant l'étude de la question, l'auteur arrive cependant à montrer qu'il y aurait, — toujours au point de vue financier, — avantage à introduire la traction électrique sur la Wannseebahn. La traction à vapeur comporte actuellement entre les trains un espacement de 10 et 20 minutes; l'auteur propose de réduire cet intervalle à 5 et 10 minutes lors de la mise à l'électricité de cette ligne. En admettant de part et d'autre pour l'intérêt et l'amortissement un taux de 7%, les dépenses de traction seraient dans le cas du service actuel par locomotives à vapeur d'environ 176.000 Marks moins élevés que dans le cas de traction électrique, l'intervalle entre les trains étant, dans le service électrique, réduit comme nous l'avons dit plus haut. L'auteur fait remarquer que cette différence en défaveur de la traction électrique serait cependant complètement balancée d'une part par l'économie importante qui résulterait d'un moindre entretien de la voie, d'autre part par une augmentation du nombre des voyageurs transportés de 5 % seulement.

Par contre, si l'on donnait au service actuel par locomotives à vapeur la même intensité de service que celle proposée pour la traction électrique, soit un intervalle de 5 et 10 minutes au lieu de l'intervalle actuel de 10 et 20 minutes, il en résulterait pour l'exploitation par l'électricité une économie de 59,000 marks; dans cette somme de 59,000 marks n'est pas comprise l'économie qui proviendrait du moindre entretien de la voie.

Bork (1) a également étudié la question de rentabilité de la Wannseebahn; en supposant de part et d'autre le même nombre des départs des trains, il arrive à calculer pour les frais de traction : traction électrique : 1065,90 marks par 1000 trains-kilomètres utiles; traction à vapeur: 1026,50 marks. Cette différence de 39,40 marks en faveur de la traction à vapeur serait à compenser par un accroissement dans le nombre des voyageurs transportés.

D'après H. de Backer (2), sur le réseau des Tramways provinciaux de Naples, les dépenses totales de l'exploitation à vapeur se sont élevées à 0,978 lires par train-kilomètre; les mêmes dépenses estimées pour le réseau, ne s'élèveront probablement qu'à 0,55 lires. D'après cet auteur les économies principales résulteraient d'une part d'un entretien moindre du matériel roulant, d'autre part d'une réduction dans les dépenses de traction. Nous ferons remarquer que l'usine génératrice des Tramways provinciaux de Naples est une usine à vapeur et que le prix de la tonne

(1) *Elektrische Bahnen*, 1903, Livraison 1, page 4.
(2) *Elektrotechnische Zeitschrift* du 21/4/1904.
(3) *Elektrische Bahnen*, 1903, Livraison 1.

(1) *Glasers Annalen*, 15 mai 1903.
(2) *Revue universelle des Mines*, tome LX, 1902.

de charbon franco centrale est d'au minimum 27 francs.

La substitution de la traction électrique à la traction à vapeur a également donné des résultats très heureux sur la ligne à écartement normal Milan-Varese-Porte Ceresio [1]. Alors que les dépenses d'exploitation se montaient pour la traction à vapeur entre 48,5 et 49 pfennigs par train-kilomètre, ces dépenses se maintiennent aujourd'hui entre 24,3 et 21 pfennigs depuis l'introduction de la traction électrique. Bien que le tarif sur cette ligne ait été baissé de moitié, les recettes générales ont augmenté de 34 °/₀, le nombre de voyageurs transportés s'étant élevé de 2,8 millions à 6,4 millions.

La ligne Liverpool-Birkenhead [2] comporte des résultats tout aussi satisfaisants depuis l'introduction de la traction électrique, laquelle fut substituée en 1903 à l'ancienne traction à vapeur: les recettes ont, pour un même laps de temps, augmenté de 27 %, et le coefficient d'exploitation a diminué de 95.29 % à 86.84 % ; le nombre de voyageurs transportés s'est élevé de 2.8 millions à 4.2 millions.

Sur la ligne de Munich-Grünwal [3] longue d'environ 10 kilomètres, les dépenses d'exploitation proprement dites (non compris l'intérêt ni l'amortissement), étaient de 33 pfennigs par kilomètre effectif lors de la traction à vapeur; depuis l'introduction de la traction électrique, c'est-à-dire depuis 1900, ces dépenses ont été réduites à 19.4 pfennigs. En comprenant dans les dépenses d'exploitation, l'intérêt et l'amortissement du capital investi, ces chiffres deviennent 46 pfennigs pour la traction à vapeur et 33 pfennigs pour la traction électrique. Cette réduction dans les dépenses d'exploitation, mais surtout l'augmentation considérable du trafic, ont permis, déjà la première année, non seulement d'accorder au capital investi un intérêt rémunérateur, mais de disposer d'un supplément de recettes de 15,600 marks. Les dépenses d'exploitation n'ont pas cessé de diminuer depuis l'introduction de la traction électrique; elles n'étaient plus que 17.2 pfennigs par kilomètre effectif en 1903 [4].

Il résulte, des quelques exemples que nous venons de citer, qu'à l'introduction de la traction électrique correspondait toujours une augmentation considérable du nombre de voyageurs transportés, et que ce dernier facteur a contribué d'une façon très appréciable à la rentabilité du nouveau mode de traction.

L'on peut conclure de ce qui précède qu'il y aura toujours avantage à substituer, pour une ligne déterminée, la traction électrique à la traction à vapeur, si les considérations locales laissent prévoir, avec un service bien organisé, une augmentation plus ou moins importante du nombre de voyageurs. Nous avons déjà, au commencement de notre étude, montré qu'à l'introduction de la traction électrique sur une ligne d'intérêt local, correspondait toujours une augmentation du nombre de voyageurs, et nous avons tenu à citer en première ligne cet avantage de la traction électrique.

Quoi qu'il en soit, il ne semble pas qu'il y ait lieu, pour le moment surtout, de donner une solution définitive à la question. Les essais récents relatifs au problème de la traction électrique (courant alternatif, système de courant continu à 3 fils), permettent d'espérer une diminution assez considérable dans les dépenses de premier établissement ; il en résultera un nouveau facteur important dans la lutte entre la traction électrique et la traction à vapeur.

Blank [1] a fait une étude minutieuse du capital que réclamerait la construction d'une ligne de 100 kilomètres, cette ligne étant dans un cas établie en courant continu, mais alimentée par des feeders à courant triphasé; dans un autre cas, établie entièrement en courant alternatif; l'auteur conclut que la construction de la ligne en courant continu avec usine génératrice triphasée serait d'environ 32 p. °/₀ plus coûteuse que la construction de la ligne en courant alternatif simple. Lincoln [2] a fait une comparaison analogue et calcule une économie de 22 p. °/₀ en faveur du courant alternatif.

Aucune ligne importante en courant alternatif n'ayant été établie jusqu'ici, il n'est pas possible d'élucider, pour le moment, le point de savoir si à cette économie dans les dépenses de premier établissement ne correspondra pas une augmentation des dépenses d'exploitation.

H. L.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 11 février 1904.
(2) *Electrotechnische Zeitschrift*, n° du 21 avril 1904.
(3) BAYER, *Industrie-und Gewerbe Blatt*, anno 1902, livraison 17.
(4) *Elektrische Bahnen*, 1904, livraison 10.

(1) *Street Railway Journal*, 12/3 1904.
(2) *Id.*, 12/12 1903.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant: A. BONNET.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

MÉTHODE GRAPHIQUE POUR L'ÉTUDE DES PROJETS DE TRACTION

L'analyse, récemment parue dans cette revue, d'un article de M. Muller, traitant du *Calcul de la puissance des moteurs dans une exploitation de traction*, nous a fait penser qu'il pourrait être intéressant d'indiquer, à la suite de cette étude, une méthode graphique très simple et cependant complète, relative au même sujet, que nous devons à M. Pforr, ingénieur en chef à l'Union Electricitats Gesellschaft.

Nous ferons donc ci-après l'exposé de la susdite méthode, en l'accompagnant de quelques observations, ainsi que d'un exemple d'application pour mieux en montrer la portée.

Tout d'abord nous remarquerons que l'on peut distinguer, dans la durée de marche sous-courant d'un train équipé par moteurs à courant continu, sur une section de déclivité uniforme, les trois périodes suivantes :

1°. — Le temps de marche sur résistances ;

2°. — Le temps qui s'écoule entre la mise hors circuit des résistances et l'établissement du régime.

3°. — Le temps de marche à la vitesse de régime.

En matière de tramways, où les résistances passives sont à peu près indépendantes de la vitesse, la première période correspond à une accélération constante, lorsque le démarrage s'effectue à courant moyen constant par moteur ; quand à la seconde, elle est relativement peu étendue vis-à-vis des deux autres ; dans les tramways urbains, à cause de la faible vitesse réalisée ; dans les tramways suburbains, en raison du développement relativement

considérable des sections comprises entre arrêts consécutifs. C'est ce qui fait que l'on peut étudier aisément, dans ces deux cas, les grandes lignes d'un projet, par quelques calculs simples établis d'après un petit nombre d'observations judicieusement basées sur les caractéristiques des moteurs choisis.

Le travail devient plus laborieux quand il s'agit de l'étude d'un chemin de fer Métropolitain; la seconde période, pendant laquelle l'accélération du train décroît depuis sa valeur initiale jusqu'à zéro, suivant une loi essentiellement dépendante de la forme de la caractéristique mécanique des moteurs employés, acquiert en effet, dans ce cas, une importance prépondérante du fait de la nécessité (inhérente à la nature même du service considéré), où l'on se trouve, de réaliser sur des sections très courtes (de longueur généralement comprise entre 250^m et 800^m), des vitesses moyennes relativement élevées (25 à 35 kilomètres à l'heure).

La même observation s'applique à l'étude des chemins de fer électriques; la résistance au mouvement augmentant alors très vite avec la vitesse, le démarrage du train s'effectue presque tout entier à accélération variable ; et il n'est plus possible, dans ces deux derniers cas, de traiter avec quelque exactitude un projet sans effectuer de quadratures.

Adoptant les notations suivantes :

F, effort de traction à la jante des roues,

R, résistance opposée au mouvement du train,

$A = F-R$, effort accélérateur,

M, masse du train,

v et γ vitesse et accélération du train à l'instant,

l, espace parcouru au même instant,

i, déclivité de la section considérée,

on aura d'une manière générale :

$$F = \varphi(v) \qquad R = \varphi_1(v,e)$$

et l'on devra considérer autant de courbes de l'effort accélérateur en fonction de la vitesse : $A_i = \varphi'(v,i)$, qu'il y aura de déclivités différentes le long de la ligne étudiée. De la première courbe ainsi tracée, on pourra déduire, pour la section correspondante, les deux diagrammes $v = f(t)$ et $v = f'(e)$ ce dernier donnant le moyen de repérer sur le premier le point de passage à la section suivante.

On pourra donc arriver, de proche en proche, à suivre d'une façon continue la vitesse du train dans ses variations successives rapportées au temps et à l'espace, pour la ligne tout entière ; le mouvement du train se trouvera ainsi, au point de vue cinématique, complètement déterminé ; il le sera de même au point de vue énergétique, attendu que la courbe $v = f(t)$ donnera le moyen de tracer le diagramme du courant absorbé, en fonction du temps, tandis que la courbe $v = f'(e)$ permettra de figurer, en fonction de l'espace, la loi de variation des résistances passives.

L'originalité de la méthode de M. Pforr dont nous allons maintenant indiquer le principe, consiste en ce qu'elle conduit au tracé des deux courbes, $v = f(t)$ et $v = f'_{,}(e)$ par l'emploi exclusif de procédés graphiques dont quelques-uns utilisent les propriétés des polygones funiculaires.

I. — VITESSE EN FONCTION DU TEMPS

On a, pour le temps correspondant à une variation de vitesse Δv

$$\Delta = \frac{\Delta v}{\gamma} = \frac{M}{A} \Delta v \qquad (1)$$

En construisant le facteur $\frac{M}{A}$ au moyen d'une troisième proportionnelle, on peut ramener à la mesure d'une surface, d'après l'expression ci-dessus, l'évaluation de Δt. Effectivement, supposons tracée en EFG (fig. 1), la loi de variation des efforts accélérateurs en fonction de la vitesse, pour une section donnée, et proposons-nous de déterminer, par exemple, le temps que mettra le train à passer de la vitesse $v_1 = Oa$ à la vitesse $v_2 = Ob$. Dans l'intervalle (fig. 1) $\Delta v = v_2 - v_1$, l'effort accélérateur moyen aura pour valeur :

$$A = MM'.$$

Or, l'expression (1) peut être mise sous la forme :

$$\Delta t = \frac{M}{a^2} \times \frac{a^2}{A} \times \Delta v,$$

où a^2 représente un paramètre arbitraire. Si nous traçons en OABC un carré de côté a, nous obtiendrons, en AK, par la construction qu'indique la figure, la valeur du facteur $\frac{a^2}{A}$; il suffit d'ailleurs de prendre pour a la valeur particulière

$$a = \sqrt{M}$$

pour rendre le facteur $\frac{a^2}{M}$ égal à l'unité : le segment AK représente alors directement à l'échelle adoptée par les temps, la valeur de $\frac{1}{\gamma}$ c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'une variation de vitesse égale à l'unité puisse s'accomplir.

En portant le segment AK en M'K' et opérant de même successivement pour chacun des intervalles, on obtient en T_1T_2 une courbe $\frac{1}{\gamma} = \psi(v)$, telle que la surface limitée par cette ligne, l'axe des γ et deux normales à ce dernier comprenant un intervalle Δv, représente, en centimètres carrés, à l'échelle adoptée pour les temps (si le centimètre figure, sur le diagramme, l'unité de vitesse) l'espace de temps correspondant à la variation de vitesse Δv considérée.

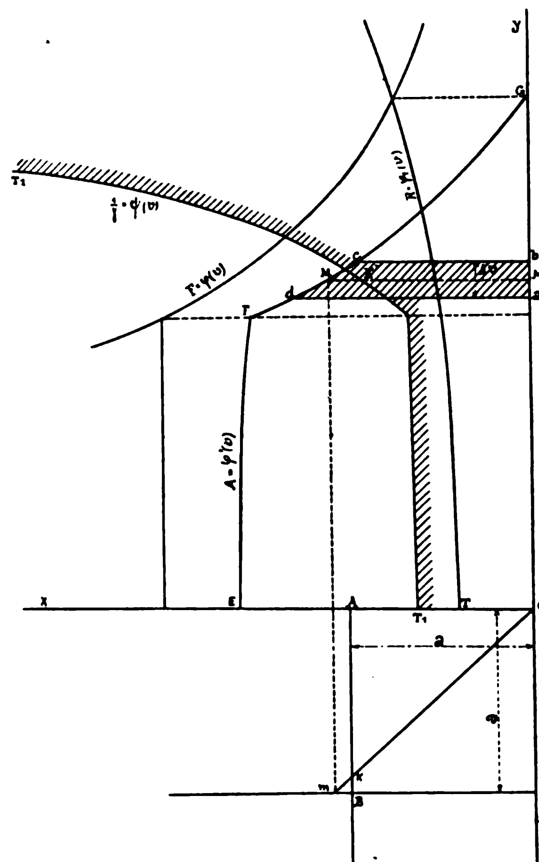


Fig. 1

Pour pouvoir lire directement sur T_1T_2 les temps correspondant à des accroissements ou diminutions de vitesse égaux à $\frac{1}{p}$, il suffit évidemment de construire cette courbe en partant d'un paramètre égal à

$$\sqrt{\frac{M}{p}}. \qquad (3)$$

II. — VITESSE EN FONCTION DE L'ESPACE

La vitesse moyenne pour un intervalle assez petit Δv peut être prise égale sensiblement à la valeur de la vitesse v, au milieu de cet intervalle ; c'est-à-dire que l'on peut écrire :

$$\Delta e = v . \Delta t$$

Nous reportant à la figure 1, nous voyons donc que l'espace parcouru pendant le temps Δt est précisément égal au moment statique de la surface *abcd*, qui représente Δt, par rapport à l'axe des temps *ox* (fig. 2).

On pourra donc le déterminer par la construction ordinaire des polygones funiculaires en traitant comme des forces les intervalles de temps Δt, ainsi que l'indique la figure 2 ci-dessous.

Les deux diagrammes $v = f(t)$ et $v = f'(e)$ une fois construits permettront d'évaluer respectivement, ainsi que nous l'avons expliqué, l'énergie électrique consommée et le travail résistant utile, d'où le rendement résultant pour un trajet.

Comme l'on possèdera en même temps tous les éléments nécessaires pour calculer, à tout instant et à tout point du parcours, les pertes d'énergie provenant de l'usage des freins et de l'ensemble de l'équipement électrique, on pourra séparer le rendement global en ses deux éléments : 1° Le rendement mécanique qui dépend du profil et de la longueur des sections, de la vitesse moyenne requise et de l'accélération aux démarrages; 2° le rendement de l'équipement électrique, qui résulte de la nature des moteurs employés et de la façon dont ils sont utilisés.

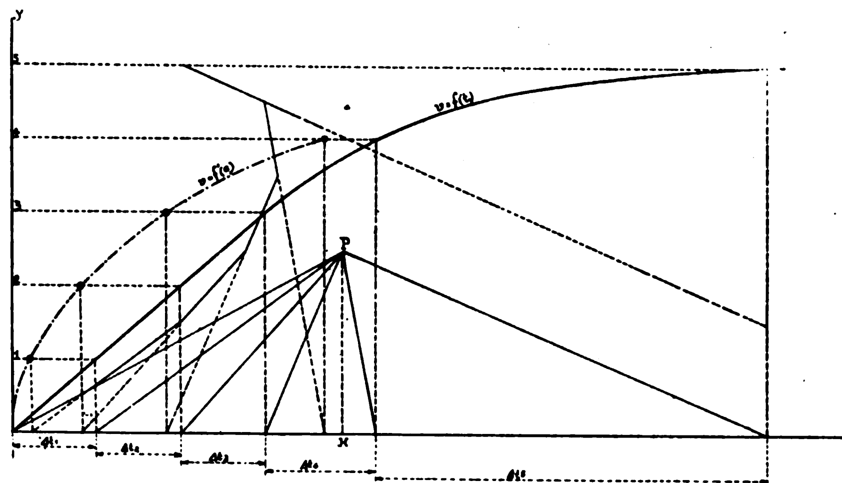


Fig. 2

III. — REMARQUE

Dans l'évaluation de *a* par les expressions (2) et (3), il faut avoir soin de remarquer que l'unité de masse apparaît comme une unité dérivée des unités de force, de vitesse et de temps ; il y aura donc lieu de tenir compte de l'équation de dimension : $M = FTV^{-1}$ en calculant M.

Il faudra également observer, dans la construction des polygones funiculaires, que la distance polaire PH (fig. 2) a pour dimension le temps.

En général, on se trouve souvent conduit, pour une plus grande exactitude du dessin, à adopter une distance polaire p' fois plus grande que la longueur représentant l'unité de temps; les espaces parcourus résulteront alors de la construction des polygones funiculaires à une échelle définie par l'équation de dimension $L = VT$. (Si l'unité de vitesse se trouve représentée par un centimètre, les abscisses de la courbe des espaces représenteront p' mètres par centimètre.)

IV. — APPLICATION

Nous ferons dans ce qui suit, à titre d'exemple, l'application de la présente méthode à l'étude de la traction d'un train de 30 tonnes, équipé avec deux moteurs Siemens (dont la figure 3 indique les caractéristiques) (1). sur une section en palier de 460 mètres de long à parcourir avec une vitesse moyenne de 20 kilomètres à l'heure (fig. 3).

Appelant :

c et C les valeurs respectives des couples qui s'exercent sur l'arbre du moteur et sur l'essieu des roues, exprimés en kilomètres,

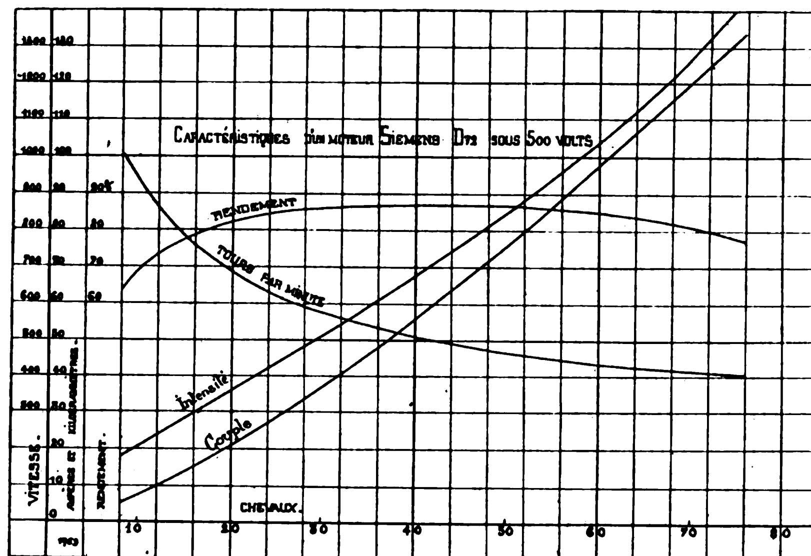


Fig. 3

Ω et ω les deux vitesses angulaires correspondantes, en tours par minute,
D, le diamètre de roulement des roues en mètres,
v, la vitesse du train en mètres par seconde,
n, l'inverse du rapport de réduction,

$$n = \frac{\Omega}{\omega}$$

nous avons d'une part :

$$c\Omega = C\omega \quad \text{et} \quad C = \frac{FD}{2} \quad \text{d'où} \quad F = \frac{2cn}{D}, \qquad (4)$$

et d'autre part:

$$v = \frac{\pi D \omega}{60} = \frac{\pi D \Omega}{60 n}, \qquad (5)$$

relations qui nous permettent de déduire des caractéristiques de la fig. 3 les valeurs de l'effort de traction et de la vitesse du train en fonction du courant consommé et, comme conséquence, la caractéristique mécanique $F = \varphi(v)$ (fig. 4).

Adoptant pour les unités primordiales de force, de vitesse et de temps les échelles suivantes:

1 centimètre = 100 kilos — 1 centimètre = 1 mètre par seconde — 1 centimètre = 2 secon-

(1) Ces caractéristiques ne tiennent pas compte des pertes dans les engrenages.

des, nous avons pour l'unité de masse : $M = FTY^{-1} = 200$ et pour le paramètre a servant de base à la construction de la courbe $v = f(t)$,

$$a = \sqrt{\frac{1680}{200}} = 2^{\text{cent}},90,$$

(la masse du train par moteur ayant pour valeur $15000 \times 1{,}02 \times 1{,}10 = 1680$ en tenant compte du coefficient d'inertie égal à 1,10.

Il a été admis que chaque moteur peut supporter pendant la période initiale du démarrage un courant de 100 ampères. Afin d'obtenir plus de points pour le tracé de la courbe $v = f(t)$ à partir du moment de la mise hors circuit des résistances, nous avons considéré des intervalles Δv égaux à 1/2 mètre par seconde ; les temps Δt ont évidemment été obtenus, pour ces intervalles, en prenant la demi-valeur des ordonnées correspondantes de la courbe

$$\frac{1}{\gamma} = \psi(v)$$

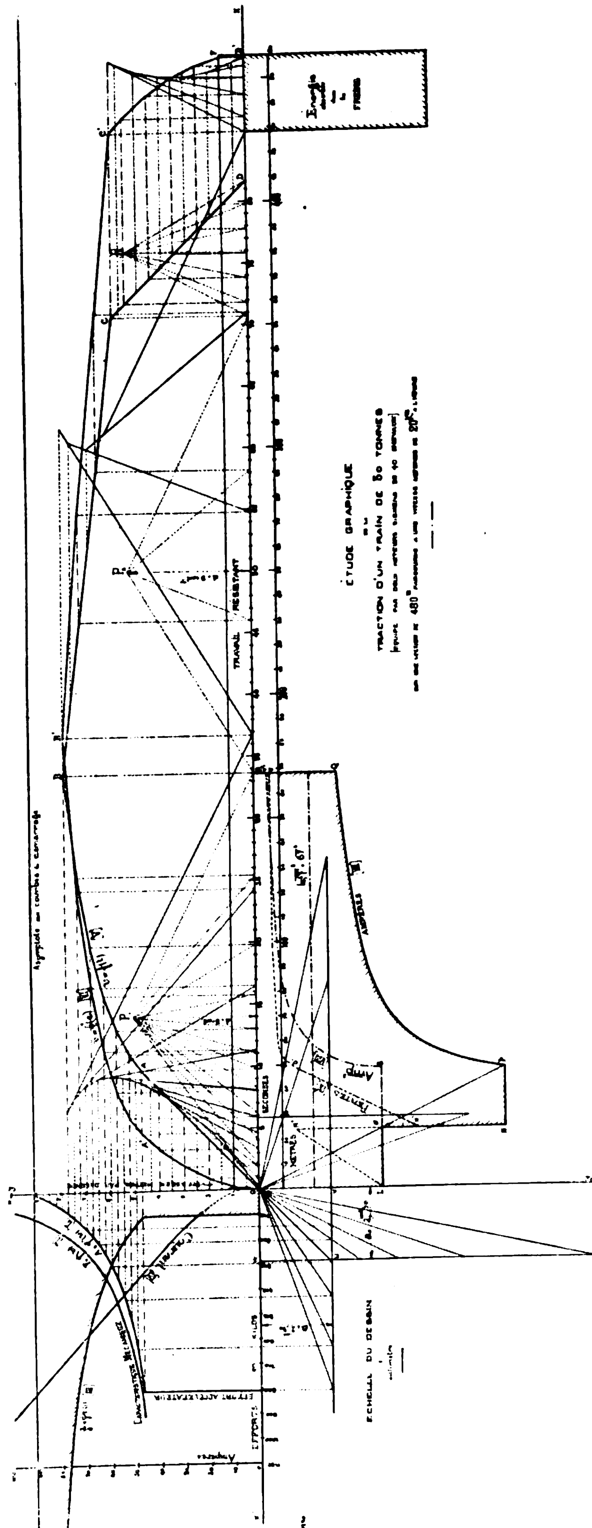


Fig. 4

Dans la construction de la ligne $v = f'(e)$ une distance polaire de 0 cent. $5 \times 10 = 5$ cent. a été choisie ; il en est résulté que les espaces se sont trouvés représentés à l'échelle de 10 mètres par centimètre.

Nous avons changé deux fois la position du pôle pour éviter les erreurs graphiques pouvant provenir d'une obliquité trop grande des secteurs polaires par rapport à l'axe Ox.

La base OD du diagramme $v = f(t)$ est évidemment connue dès que l'on s'est fixé la vitesse moyenne à réaliser sur la section ; il en est de même de l'inclinaison de la droite CD qui représente le retard admis pendant le freinage.

La détermination du diagramme complet OABCD a pu dès lors être faite en déplaçant parallèlement à elle-même la droite BC figurant la marche en dérive $\left(\text{retard} = \frac{100}{1.680} = 0^{\text{m}},0595\right)$ de manière à obtenir

$$2 \text{ surf. OABCD} = \int_0^T v dt = 460^{\text{m}}$$

(un espace d'un mètre se trouvant en effet représenté par une surface d'un demi-centimètre carré).

Comme vérification du résultat $\int_0^T v\,dt = 460$ relevé au planimètre sur la courbe $v = f(t)$, nous remarquerons que l'espace parcouru au moment de l'interruption de courant lu sur le diagramme est $e_1 = 184^m$ (on a alors $t = 33'',6$ et $v = 7^m,70$ par seconde soit $27^{km},70$ à l'heure); dans la marche en dérive la vitesse tombe de $7^m,7$ à 5^m55 par seconde au bout de 37″, ce qui correspond à un espace couvert égal à

$$e_2 = \frac{\overline{7,7}^2 - \overline{5,55}^2}{2 \times 0,059} = 242^m;$$

enfin, au freinage, la vitesse de 5^m55 par seconde se trouve amortie en $\frac{5,55}{0,5} = 11''$ sur un espace égal à $e_3 = \frac{\overline{5,55}^2}{2 \times 0,5} = 31^m$

On a bien ainsi $e_1 + e_2 + e_3 = 460^m$ à 1 mètre près.

A l'aide des deux lignes OABCD et OA′B′C′D′ représentatives du mouvement, nous avons pu figurer sur l'épure (fig. 4) :

1° En OEFD′ et D′KJZ, le travail résistant strictement utile et l'énergie absorbée dans les freins au moment de l'arrêt (échelle : 1,000 kilogrammètres par cent²).

2° En OLMNPQR et OLST, les diagrammes des courants et des carrés des courants consommés par moteur; le premier à l'échelle de 10 ampères par centimètre, le second à raison de 2,000 ampères carrés par centimètre.

3° En OLM′N′S′T′, le diagramme des courants proportionnels aux pertes d'énergie se dissipant tant dans les résistances que dans le moteur lui-même.

Nous avons déduit de ces graphiques, au moyen du planimètre, les résultats suivants :

(*a*). — Courant moyen absorbé par moteur [1].

Nous avons trouvé pour la surface limitée par le diagramme des courants :

dive OLMNPQR $= 91^{cent^2},50$

d'où

$$\int_0^T I\,dt = 20 \times 91,5 = 1830 \text{ Amp — sec.}$$

et par suite, pour le courant moyen rapporté à une période complète (comprenant un arrêt de 25″) :

$$I_{moy} = \frac{1830}{106,7} = 17^A,20$$

(*b*) Courant efficace par moteur.

Nous avons eu de même, pour le diagramme des carrés des courants absorbés par moteur :

dive OLST $= 37^{c^2},60$

d'où

$$\int_0^T I^2 dt = 4000 \times 37,6 = 150.400\ \overline{\text{Amp}}^2 \text{ — sec.}$$

---

(1) Le courant moyen dont nous parlons ici constitue ce que l'on pourrait appeler, suivant la nouvelle terminologie préconisée par M. Hospitalier, le courant moyen puissancique par moteur, étant sous-entendu qu'il se rapporte à la tension totale; il ne représente donc pas la moyenne des courants traversant un moteur, mais la moyenne des courants absorbés par le train tout entier divisée par le nombre de moteurs que compte l'équipement.

soit pour le courant efficace

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{150.400}{106,7}} = 37^{A}\,60 \ (^1)$$

(*c*) Energie consommée par moteur.

Cette énergie résulte directement de l'expression :

$$Q = \frac{500}{3600} \int_0^T I dt$$

qui donne

$$Q = 0,139 \times 1830 = 254 \text{ watt-heures}$$

ce qui correspond à une consommation de :

$$w = \frac{254}{0,46 \times 15} = 37 \text{w.h par tonne kilomètre}$$

(*d*) Pertes dans le moteur et les résistances.

Nous avons trouvé :

$$\text{aire OLM'N'S'T'} = 24^{c2},30$$

d'où nous avons déduit pour les pertes totales dans l'équipement :

$$q = \frac{500}{3.600} \times 20 \times 24,30 = 67^{w.h},70$$

(*e*). — Rendement de l'équipement électrique.

Ce rendement, défini par l'expression $\eta_1 = \frac{Q - q}{Q}$, a été trouvé égal à $\eta_1 = 0,735$.

(*f*) Travail mécanique résistant. — Rendement mécanique.

Le travail mécanique (libéré à la jante des roues) strictement nécessaire pour franchir la section, eût été, sans l'usage des freins, de :

$$W = 1000 \text{ surf. OEFD'} = 46000 \text{ kilogrammètres.}$$

Mais, en raison de la grande vitesse moyenne requise, il a fallu développer, pour l'absorber ensuite dans les freins, une énergie supplémentaire égale à :

$$W' = 1000 \text{ surf. ZD'KJ} = 31 \times 740 = 22900 \text{ kgmm.}$$

Nous en avons donc déduit pour le rendement mécanique correspondant au diagramme du mouvement OABCD

$$\eta_2 = \frac{W}{W + W'} = \frac{46000}{68900} = 0,6675$$

(*g*). — Rendement résultant.

Ce rendement, défini par le rapport de l'énergie mécanique strictement nécessaire à l'énergie électrique absorbée aux bornes des moteurs, a eu pour valeur dans le graphique de la figure 4

$$\eta = \frac{W}{Q} = \frac{46000 \times 9.81}{500 \times 1830} = 0,493$$

Nous remarquerons pour finir que nous avons encore pu déterminer la valeur du rende-

(1) On remarquera la valeur relativement élevée $\left(\frac{I_{eff}}{I_{moy}} = 2,18\right)$ qui a été trouvée pour le rapport du courant efficace au courant moyen, même en tenant compte de la durée des arrêts dans l'évaluation de ces courants : par cette observation, l'on voit combien grande eût été l'erreur commise, dans ce cas, si, pour fixer la capacité des moteurs, on s'était contenté de considérer leur travail moyen.

ment global en effectuant le produit des deux rendements partiels y_1 et y_2; nous avons obtenu ainsi :

$$\eta = \eta_1 \eta_2 = 0,735 \times 0,6675 = 0,491.$$

La concordance de ces derniers résultats constitue évidemment une vérification de l'exactitude des précédents calculs.

F. SARRAT,

Ingénieur à la Compagnie Russe-Française de chemins de fer et de tramways.

LES AUTOMOBILES POSTALES

On vient de mettre récemment en service, à Paris, 15 fourgons automobiles pour le service des Postes (fig. 1.).

Comme chacun sait, le service des Transports postaux est assuré par une compagnie concessionnaire qui, sur l'obligation à elle imposée par l'Administration, a dû mettre en service ces voitures à la fin d'Octobre. La Société des Messageries des Postes s'est adressée à plusieurs constructeurs pour réaliser l'ensemble de ces voitures. — Chaque constructeur conserve pendant cinq ans dans des conditions assez intéressantes la responsabilité du matériel qu'il a fourni. La surveillance du chargement des batteries et l'entretien de ces batteries, l'entretien de la partie mécanique et électrique du châssis, enfin l'entretien des bandages sont en effet autant d'opérations asurées chacune à forfait par leur fournisseur. — Nous passerons successivement en revue diverses parties de la voiture. — Mais auparavant, nous dirons quelques mots de la carrosserie.

Celle-ci a été construite indépendamment des châssis. Mais, le plancher du siège qui porte les pédales de frein et le combinateur, la planche du dessous du siège portant les appareils électriques, sont reliés au châssis par l'intermédiaire d'une cage métallique supportant le plancher et le reliant aux fers du châssis. — La caisse, d'une capacité utilisable de $1^{mc}5$, peut recevoir une charge de 600 kilogs. Le service se fait par une trappe sur le dessus de la caisse (remplissage ou échange de sacs), et par une porte d'arrière (vidage complet). Une particularité intéressante est que, par mesure de sécurité, cette porte a été reliée par un encliquetage au coussin du siège de l'employé.

Accumulateurs. — La grande difficulté était dans la manœuvre du chargement des batteries. — Celle-ci, en effet, devait se faire rapidement (temps accordé : 5 minutes). Les accumulateurs ont été mis dans une caisse unique. Or, chaque caisse contient 44 éléments Heinz de 150 A. H., chargés par le secteur Popp à 5 fils et elle pèse, pleine, 650 kilogs. Nous avons pu nous rendre compte *de visu* des dispositions particulièrement ingénieuses prises pour effectuer rapidement la manœuvre.

La caisse d'accumulateurs est logée à l'avant de la voiture, sous les pieds du conducteur et va jusqu'au moteur. Elle repose sur 4 rouleaux d'acier placés sur le châssis et elle peut glisser facilement sur ceux-ci qui offrent une moindre résistance du fait de leur roulement. — Comment va-t-on faire le transport des accumulateurs, de la voiture aux bancs de charge et inversement ? — Par deux chariots dont les châssis portent eux aussi des rouleaux d'acier analogues à ceux de la voiture. L'un d'eux est amené au contact de la voiture et la caisse passe, en roulant sur les rouleaux d'acier, de la voiture sur le chariot ou inversement. Pour cela, la façade de l'Hôtel des Postes affecté au chargement des batteries, présente sur

***

la cour de grandes portes contre lesquelles vient buter l'avant des voitures. Le long de ces portes et à l'intérieur du local est ménagée une voie sur laquelle se déplace ce premier chariot. La voiture étant placée contre la porte, on ouvre son avant et on amène le chariot en face. On voit que, suivant le cas, en tirant la caisse des accumulateurs ou au contraire en la poussant, on pourra facilement sans trop d'efforts la faire passer des rouleaux de la voiture sur ceux du chariot ou inversement. Le deuxième chariot (un par banc de charge) sert alors à faire passer la caisse du premier chariot sur le banc de charge ou inversement. Pour cela les bancs de charge sont disposés perpendiculairement à la façade. Une voie est ménagée aussi



Fig. 1

le long de ces bancs et vient rejoindre à angle droit la voie établie le long de la façade. Le 2me chariot peut donc, lui aussi, être facilement amené au contact du premier, prendre la caisse et la transporter devant le banc de charge. Pour les mêmes raisons, le banc de charge supporte les accumulateurs par l'intermédiaire de rouleaux d'acier et facilite le déplacement de la caisse entre le second chariot et le banc. Nous avons pu nous rendre compte de la rapidité avec laquelle ces différentes manœuvres s'effectuaient et comment elles permettent d'assurer régulièrement le service. Les voitures prennent dès 5 heures du matin leurs batteries chargées et partent au fur et à mesure. Le chargement des batteries se fait de midi à 4 heures, chacune d'elles ayant 5 minutes pour cette opération. Elles continuent alors leur service jusqu'à 10 heures. Chaque charge permet d'effectuer un parcours calculé sur la base de 40 kilomètres. Mais en réalité même avec une batterie usagée, les voitures peuvent fournir facilement 45 kilomètres. Cela est indispensable pour le cas où les voitures seraient obligées de changer leur parcours normal (encombrement, etc). Le service auquel sont soumises ces 15 automobiles postales est certainement dur, et il fallait en conséquence un mécanisme extrêmement simple. Nous allons l'étudier rapidement.

Les caractéristiques de la voiture sont les suivantes : voie 1^m, 44 ; essieu directeur à chapes avec fusées de 45^{mm}; essieu moteur droit avec fusées de 48^{mm}; roues avant 820^{mm}; roues arrière 920^{mm} ; empattement 1^m, 60 ; poids à vide 1800 kilogs. Un seul frein intérieur à ruban extensible écarté par une came, agissant avec la même puissance dans les deux sens de marche ; direction démultipliée de 4 obtenue simplement par un pignon agissant sur un secteur denté mobile dans un plan vertical.

Le combinateur comporte 8 vitesses avant, 2 positions de récupération, 2 positions de freinage électrique et 3 vitesses arrière. Cette multiplicité de vitesses permet au conducteur de prendre la vitesse du véhicule qui le précède sans être obligé de couper constamment le courant. D'ailleurs, il peut couper le courant au moyen d'une petite pédale placée sous son pied gauche. Sous le pied droit est la pédale de frein commandant aussi l'interrupteur.

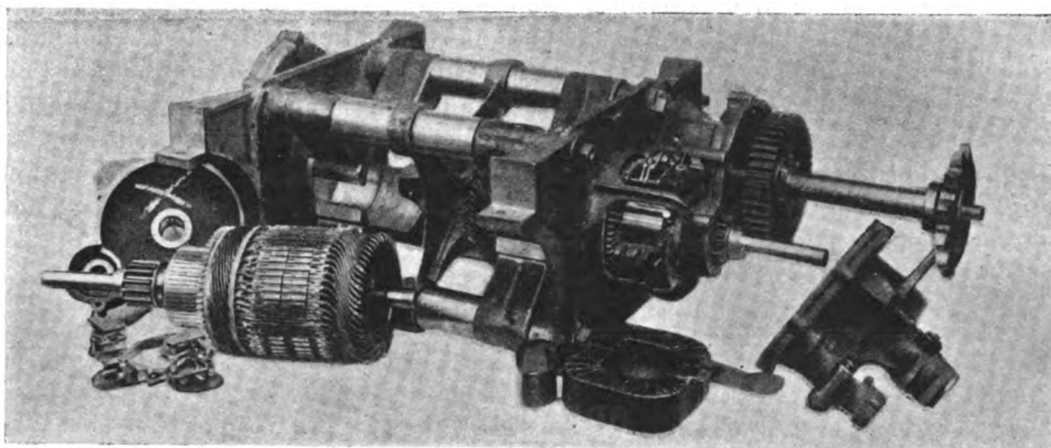


Fig. 2

La vitesse moyenne de service imposée par l'Administration est de 18 kilomètres à l'heure. Les 3 dernières vitesses du combinateur sont d'ailleurs de 20, 24 et 28 kilomètres.

La transmission du mouvement du moteur aux roues s'effectue par chaînes. Les arbres des paliers de chaîne reçoivent le mouvement des induits par un engrenage démultipliant de 3. Il y a ainsi deux réductions de vitesse. Les avantages de la transmission par chaîne sont de soustraire le moteur à l'effet des secousses et des vibrations provenant de l'essieu, comme dans le cas où la transmission s'effectue par couronnes d'engrenages. Ici au contraire, le moteur peut être attaché rigidement au châssis et il profite ainsi de la suspension de la caisse. Cet avantage est considérable, car les trépidations du moteur, surtout pour les voitures à caoutchoucs pleins, causent de graves désordres dans le moteur (écrous desserrés ; modification de la constitution des métaux et aussi crachage continu du moteur). La chaîne n'offre pas les mêmes difficultés de réglage que les engrenages et elle peut être facilement remplacée.

Au point de vue rendement, des expériences très sérieuses ont été faites par M. Lacau, le distingué ingénieur, qui a mis au point ces voitures. Il a bien voulu nous communiquer ses résultats.

Le rendement du moteur et de la transmission a été calculé par la formule :

$$\eta = \frac{W}{F \times 2{,}725},$$

où W représente la dépense en watts-heures à la tonne kilomètres et F l'effort de traction.

Avec des caoutchoucs pleins, on a obtenu 55 watts-heures à la tonne kilométrique, ce qui donne un rendement de 82 °/₀ pour le moteur et la transmission (chaîne). M. Lacau, a fait, de plus. de très intéressantes expériences au point de vue de la traction. Voici les chiffres qu'il a obtenus pour les coefficients de traction par tonne kilomètre sur le macadam de Longchamp (très bon) :

Caoutchoucs pleins............	15 à 18	kilog.
Pneus de 90 mm bien gonflés....	20 à 24	—
Pneus de 90 mm mal gonflés.....	24 à 28	—
Pneus de 120 mm bien gonflés...	29 à 32	—

Une moitié des voitures sont d'ailleurs munies de bandages pleins et l'autre moitié de pneumatiques. L'expérience jugera d'une façon définitive.

Quant au moteur (fig.2), il comprend 2 induits mécaniquement indépendants, mobiles dans un seul champ inducteur. Il n'y a ainsi qu'une excitation et les deux moteurs sont toujours bien équilibrés, même avec l'excitation shunt seule (récupération). Si l'un des induits ou des collecteurs est hors de service, il y a toujours une moitié du différentiel qui continue sa marche. C'est le moteur qui a toujours été employé par la maison Mildé. M. Lacau en a repris le calcul il y a 2 ans, et il est arrivé à limiter la consommation sur la pente maxima admise (7 °/₀) aux 66 °/₀ de la capacité de la batterie au régime en 5 heures, en admettant même la vitesse maxima du combinateur.

A. Solier.

BREVETS

***Grillage d'accumulateur*. George W. Trost.** Brevet américain n° 757396 du 9 février 1904.

Ce grillage est représenté en perspective sur la figure 1 et en coupe sur la figure 2. Il consiste

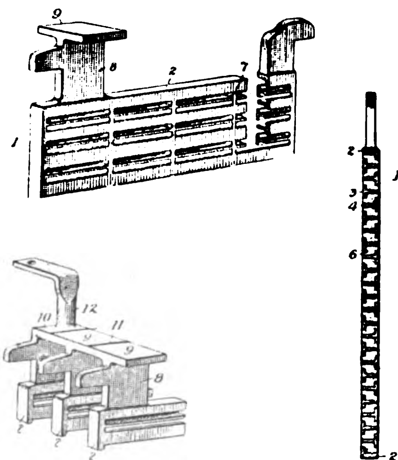


Fig. 1, 2, 3

en un cadre 2 supportant un grand nombre de pièces minces (1, 5 mm) en forme de ⊢ disposées de façon que les arêtes horizontales alternent avec les arêtes verticales. Les bords de ces arêtes sont amincis pour la commodité du démoulage. Les grands grillages sont munis de nervures rigides verticales 7. Les prises de courant 8 sont reliées comme le montre la figure 3.

On réalise avec ces grillages une grande solidité avec un minimum de poids. L'espace réservé à la matière active est 50-70°/₀ du volume total de l'électrode; le poids de cette matière active dans les éléments transportables est 50°/₀ du poids de l'électrode. La surface offerte par la matière active est environ 40°/₀ de la surface totale.

La formation de la surface du plomb du grillage augmente notablement la capacité.

C. L.

***Batterie thermique*. Hugo Bremer.** Brevet allemand, n° 150661 du 14 janvier 1902.

Dans les batteries thermiques réalisées jusqu'à présent, une partie de la chaleur dépensée est perdue vers les soudures froides, par convection et rayonnement.

On peut utiliser presque toute la chaleur dépensée en intercalant entre la chambre chaude *a* et la chambre froide *d*, une ou plusieurs chambres intermédiaires dans lesquelles passeraient les connexions reliant les soudures chaudes aux soudures froides. La figure 1 montre en *a* la chambre

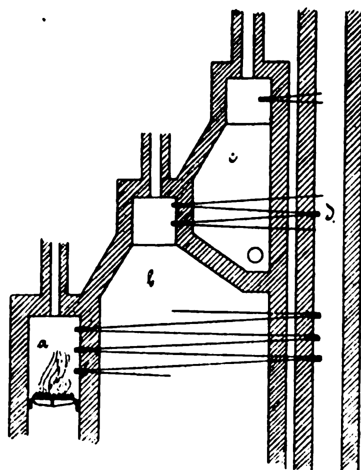


Fig. 1

chaude, en *b* et *c* les chambres intermédiaires et en *d* une chambre de ventilation. La chaleur rayonnée dans la chambre *b* par les connexions qui la traversent est utilisée à échauffer une série de soudures disposée dans la partie supérieure de cette chambre, et par conséquent à élever la différence de potentiel de la batterie. La disposition est la même dans la chambre *c*. Le nombre des chambres dépend de l'économie qu'on veut réaliser.

C. L.

***Commutateur interrupteur automatique*. Tate et Newbery.** — Brevet américain du 28 avril 1904.

Cet appareil peut être disposé, soit pour couper automatiquement le circuit, soit pour actionner un système avertisseur, une sonnerie, par exemple, lorsque l'intensité du courant qui le traverse atteint une limite dangereuse.

Pour fonctionner en coupe-circuit, une partie mobile, comme l'index d'un instrument de mesure monté en shunt, a pour fonction de fermer un autre circuit shunt comprenant un électro, lequel vient clore à son tour le circuit sur les organes du coupe-circuit proprement dit. Dans la position indiquée par la fig. 1, les lames 8 du commutateur sont appuyées contre leurs contacts correspondants et y sont maintenues par des ergots 11, 12 (fig. 2). Lorsque le solénoïde C est excité, le talon de son noyau soulève l'ergot 12 et lui fait lâcher prise. L'ampèremètre A (fig. 1), monté en shunt, sert à graduer l'intensité du courant qui ne doit pas être dépassée; il est pourvu à cet effet d'un contact mobile 38 que l'on peut déplacer à volonté le long de sa graduation ; d'un autre côté, son index 28 est muni à son extrémité d'un contact, qui, en venant toucher celui 38, ferme un circuit par l'électro D. L'ar-

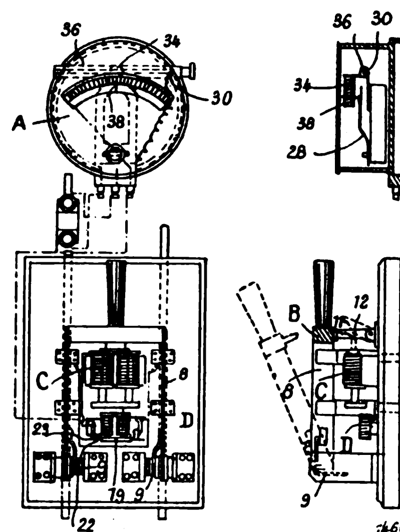


Fig. 1, 2 et 3

mature 19 de ce dernier vient, par son mouvement, fermer un autre circuit comprenant le solénoïde C et les contacts 22, 23. Par suite, le noyau de C se déplace, débloque l'interrupteur de l'ergot 12, et en provoque l'ouverture.

L'électro D est muni d'un second enroulement qui se trouve mis en circuit par le rapprochement des contacts 22, 23 ; sa fonction est de maintenir l'armature 19 soulevée pour le cas où l'index ne ferait que des oscillations rapides dans la zone dangereuse sans s'y maintenir.

La disposition de l'appareil en avertisseur nécessite le groupement de plusieurs fils sur le contact 38 (fig. 3), où ils sont maintenus par une pince filetée 34, mobile le long d'une vis 30. Le système avertisseur employé consiste en une sonnerie.

L. D.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

THÉORIES ET GÉNÉRALITÉS

Les hypothèses fondamentales de la théorie des Électrons. — **Max Abraham**. — Physikalische Zeitschrift, 15 septembre.

La théorie des électrons, qui complète si remarquablement l'électrodynamique de Maxwell, repose sur les hypothèses générales suivantes.

A. Dans un espace vide de matière et d'électricité, les équations de Maxwell sont valables. Ces dernières se rapportent à un système dans lequel des ondes électromagnétiques planes se propagent dans toutes les directions avec la même vitesse : $e = 3.10^{10}$ cm seconde : les mouvements rapportés à ce système sont désignés comme mouvements absolus.

B. L'électricité consiste en particules positives et négatives nommées « électrons ». Ce sont ces particules qui produisent l'action vibratoire de la matière et de l'éther.

C. Chaque courant électrique est un courant de convection d'électrons en mouvement. La densité du courant de convection est le produit de la densité de l'électricité par sa vitesse absolue. Le courant de convection produit le même champ magnétique que le courant de conduction équivalent de la théorie de Maxwell - Hertz.

Des hypothèses A, B, C résultent les équations de champ qui, pour une distribution et une vitesse données de l'électricité, déterminent le champ électromagnétique. Il faut ajouter encore une hypothèse sur la force qui, pour un champ donné, agit sur un élément de volume rempli d'électricité.

E. La force électromagnétique résulte de la somme des forces qui, dans le champ électrique, agissent sur l'électricité en repos et, dans le champ magnétique, agissent sur l'électricité en mouvement.

Ces 4 hypothèses représentent les hypothèses fondamentales générales de la théorie des électrons. (Voir Lorentz : encyclopédie des connaissances mathématiques. V. 21 chap. 1). Toutes les recherches s'appuyent sur elles, et ces recherches seules doivent être désignées comme entrant dans le cadre de la théorie des électrons.

Les phénomènes observés sur les rayons cathodiques peuvent être indiqués comme bases du § D si l'on considère la force électromagnétique du champ extérieur comme force extérieure, et si l'on attribue aux électrons libres négatifs supposés dans les rayons cathodiques une masse μ_0. D'autre part les hypothèses fondamentales A, B, C, D ont conduit à la conséquence que cette masse, au moins en partie, résulte du champ produit par l'électron lui-même. Les expériences de W. Kaufmann ont montré que, pour de grandes vitesses, la masse électromagnétique de l'électron a une influence essentielle.

Dans nos recherches (M. Abraham *Ann. du Physik* 10, 105, 1903) nous avons donné à la dynamique de l'électron une forme propre à expliquer les expériences de Kaufmann sur une base purement électromagnétique. Pour cela nous avons, à côté des hypothèses fondamentales générales de la théorie des électrons, introduit les hypothèses spéciales suivantes :

E. Les forces électromagnétiques du champ extérieur et du champ produit par l'électron lui-même se font équilibre sur l'électron comme dans la mécanique des corps solides.

F. L'électron ne peut absolument pas changer de forme.

G. C'est une sphère dont la charge volumique ou superficielle est uniforme.

L'hypothèse F doit être comprise comme équation de condition dans le sens de la mécanique de Hertz. Elle n'oblige pas du tout à parler de forces qui groupent les éléments de volume de l'électron ; au contraire elle signifie que de telles forces ne peuvent jamais produire de travail et rend superflue la considération de ces forces.

En s'appuyant sur les hypothèses A,B,C,D,E,F, on peut établir d'une façon purement électromagnétique la dynamique d'un électron de forme arbitraire. Mais la façon dont se comporte un électron dépend essentiellement de sa forme.

Nous avons étendu nos recherches à des électrons ellipsoïdaux de forme invariable et nous avons trouvé que le mouvement de translation d'un tel électron n'est possible que dans la direction du grand axe. Un ellipsoïde aplati ne peut pas se mouvoir parallèlement à l'axe de rotation ; le plus petit choc le ferait chavirer.

En nous appuyant sur les hypothèses A, H, G, nous avons calculé les grandeurs des mouvements des électrons. Nous en avons déduit les masses électromagnétiques longitudinale et transversale. La formule obtenue pour cette dernière concorde d'une façon satisfaisante avec les expériences de Kaufmann.

La théorie des électrons a un autre but : elle prétend embrasser dans leur totalité les propriétés électriques et optiques des corps. L'optique des corps transparents satisfaisant à la relation de Maxwell est introduite dans la théorie des électrons par l'hypothèse de forces quasi-élastiques qui amènent les électrons dans leurs positions d'équilibre. La dispersion des corps est interprétée grâce à l'introduction de l'inertie des électrons, qui, combinée avec les forces dont nous venons de parler, entraîne l'existence d'oscillations propres. L'électron vibrant représente l'image la plus simple d'un point lumineux ; l'effet Zeeman dans sa forme normale montre que cette image correspond à la réalité pour un grand nombre de lignes du spectre. La vitesse des oscillations des électrons est si faible que les modifications de la masse n'interviennent pas. Les hypothèses E, F, G n'entrent pas en jeu tant que le corps lui-même est immobile.

Il en est autrement dans l'optique des corps en mouvement. Les phénomènes d'aberration montrent que le système universel (voir A) ne prend pas part au mouvement de rotation de la terre autour du soleil. Comment se fait-il que les phénomènes électriques et optiques qui se passent sur la surface de la terre, ne laissent voir aucune influence du mouvement de la terre ? H. A. Lorentz a étudié cette question : il a montré que l'absence d'une influence du 1er ordre dans le quotient $B = 10^{-4}$ entre la vitesse de la terre et la vitesse de la lumière est parfaitement compatible avec les hypothèses fondamentales A à D de la théorie électrique (H-A. Lorentz : théorie des phénomènes électriques et optiques dans les corps en mouvement. Leyde, 1895).

Le résultat négatif d'expériences dont le degré de sensibilité était suffisant pour déceler une influence du 2ème ordre prépare à la théorie des électrons d'importantes difficultés. Dans deux ouvrages (H. A. Lorentz, K. Akad. van Wetensch. Amsterdam 1899 et 1904), Lorentz a essayé de surmonter ces difficultés. Dans le second de ces ouvrages, il établit un système d'hypothèses propres à expliquer tous les résultats négatifs des expériences :

H. Par suite du mouvement de la terre, les corps subissent une certaine contraction parallèlement à la direction du mouvement.

Cette hypothèse explique les résultats négatifs des expériences d'interférence de Michelson. Elle explique aussi l'absence d'un couple dans une position inclinée sur la direction du mouvement de la terre, que Trunton et Noble avaient en vain essayé de découvrir.

On peut rendre plausible l'hypothèse H en considérant les forces moléculaires comme forces électriques.

I. Les forces quasi-élastiques qui tiennent les électrons dans leurs positions d'équilibre subissent, par suite du mouvement de la terre, la même modification que les forces électriques ou les forces moléculaires.

On peut également rendre plausible l'hypothèse I en considérant aussi les forces quasi-élastiques comme forces électriques.

Pour expliquer l'absence d'une double réfraction que devrait produire le mouvement de la terre dans des corps isotropes au repos, que Lord Rayleigh et D. B. Brace ont trouvée dans leurs essais, il suffit, pour ces corps qui satisfont à la relation de Maxwell, d'ajouter l'hypo thèse I aux hypothèses A,B,C,D,H. Au contraire dans les corps bi-réfringents où l'inertie des électrons entre en jeu, la double réfraction résultant du mouvement de la terre n'est absente que lorsque les forces d'inertie longitudinales et transversales sont modifiées de la même manière que les forces quasi-élastiques. C'est, d'après H. A. Lorentz, le cas lorsque la dynamique des électrons oscillant à l'intérieur de la matière en mouvement repose sur les hypothèses suivantes :

E n'est pas modifiée;
Au lieu de F et G on introduit : K.

L'électron dont la charge volumique ou superficielle est uniforme au repos s'aplatit lorsqu'il est en mouvement, de telle façon que son diamètre parallèle à la direction du mouvement diminue dans le rapport

$$\frac{\sqrt{1 - B^2}}{1}$$

C'est un ellipsoïde de Heaviside. H. A. Lorentz a calculé, pour un tel ellipsoïde, la grandeur

électro-magnétique du mouvement, dont on déduit immédiatement, d'après notre méthode, les deux masses.

Il trouve pour la masse longitudinale :

$$\mu_{n} = \mu_{o} (1 - \beta^{2})^{-3/2}$$

et pour la masse transversale

$$\mu_{r} = \mu_{o} (1 - \beta^{2})^{-1/2}.$$

H. A. Lorentz montre que le manque de concordance de sa formule avec les expériences de Kauffmann n'est pas plus considérable que pour la mienne.

Comme, d'autre part, le rapport des masses transversales et longitudinales est égal, d'après l'hypothèse K à $1 - \beta^2$, et d'après les hypothèses F et G à $(1 - {}^{1}/_{5}\beta^{2})$, en négligeant les termes du 5e ordre et au-delà, l'introduction des hypothèses F, G au lieu de l'hypothèse K dans le système hypothèse de Lorentz, conduirait à une double réfraction de l'ordre ${}^{1}/_{5}\beta^{2} = 210^{9}$ pour les corps, pour les propriétés optiques desquels l'inertie des électrons joue un rôle.

H. A. Lorentz remarque finalement que même pour les corps avec mouvements moléculaires, toute influence du mouvement de la terre disparaît si l'on admet comme dernière hypothèse que:

L. Les masses de molécules sont de nature électro-magnétique.

Examinons d'une façon particulière l'hypothèse K. H. I. A. Lorentz la propose sous toutes réserves ; il ne va pas jusqu'à la présenter comme vraisemblable. En réalité, il existe contre elle de puissants arguments.

Si l'on donne à un tel électron une accélération, son aplatissement augmente ; il existe donc un travail contre les forces électriques. Alors que, pour l'électron indéformable, l'accroissement d'énergie est égal au travail produit par les forces électrique extérieures, cela n'a plus lieu maintenant; l'accroissement d'énergie dû à une augmentation de vitesse est plus grand que le travail des forces extérieures.

La conséquence de l'hypothèse K oblige alors à admettre, à côté des forces électro-magnétiques intérieures, l'existence d'autres forces intérieures non électro-magnétiques qui, avec les précédentes, déterminent la forme de l'électron. Au moment de la contraction, ces forces produiraient le travail nécessaire qui, joint au travail des forces extérieures est équivalent à l'accroissement d'énergie électro-magnétique de l'électron. Tant que l'on n'indique pas d'après quelle loi ces forces doivent agir, le système d'hypothèses A, B, C, D, E, K est incomplet.

Etant donné que ce système n'est pas complet, on n'est pas certain de la stabilité d'un électron obéissant à ces hypothèses. Le mouvement d'un ellipsoïde de rotation aplati de forme invariable parallèlement à son axe de rotation est instable, comme nous l'avons rappelé plus haut. On manque de preuves pour admettre que ces forces auxiliaires non électro-magnétiques rendent stable le mouvement de l'ellipsoïde déformable.

La nécessité dans laquelle on est d'introduire des forces non électro-magnétiques montre que l'hypothèse de l'ellipsoïde déformable de Heaviside, quoique plus simple mathématiquement à certains points de vue, est beaucoup plus compliquée au point de vue physique que l'hypothèse de l'électron sphérique solide. La première est en réalité incapable de résoudre plusieurs questions auquelles la seconde donne une réponse parfaitement déterminée.

Rappelons la conclusion tirée par P. Hertz (Physikalische Zeitschrift, 5 novembre 1904) des hypothèses A à G que l'électron peut se mouvoir avec la vitesse de la lumière sous l'effet de forces finies. Les expériences de F. Paschen montrent qu'il existe dans la radiation du radium des électrons négatifs qui possèdent un beaucoup plus grand pouvoir de pénétration et une beaucoup plus faible déviation que les plus rapides rayons B étudiés par Kaufmann. Là, la vitesse de la lumière semble réellement être presque, sinon tout à fait, atteinte. On arrive au résultat auquel conduisent, indépendamment l'une de l'autre, les déductions mathématiques et expérimentales. Par contre, l'hypothèse K ne conduit pas à ce résultat.

Pour toutes ces raisons, il serait prématuré de laisser de côté les hypothèses F et G en faveur de l'hypothèse K. Evidemment la dynamique de l'électron, comme toute théorie physique, doit être vérifiée par l'expérience. Il est à souhaiter que les expériences que poursuit Kaufmann avec une infatigable persévérance, donnent de nouveaux renseignements.

La question de savoir si et comment il est impossible de découvrir une influence du mouvement de la terre sur les phénomènes électriques et optiques qui se produisent à sa surface, n'est

nullement résolue à l'heure actuelle. H. A Lorentz lui-même n'a pas prétendu la résoudre définitivement par le système d'hypothèses H, I, K, L. Il a seulement voulu montrer que l'absence d'une influence observable n'est pas contraire aux hypothèses fondamentales A, B, C, D de la théorie électronique, mais que ces hypothèses peuvent être combinées sans contradiction avec d'autres, de telle façon que l'influence du mouvement de la terre échappe dans tous les phénomènes observables.

Même si la dynamique de l'électron reposant sur les hypothèses A à G fait ses preuves dans le domaine de la radiation cathodique et de la radiation de Becquerel et qu'au contraire il soit impossible de constater une double réfraction des corps anisotropes d'ordre 10^{-9} due au mouvement de la terre et qui résulte de ces hypothèses et de l'hypothèse H, il reste différentes possibilités.

Etant données nos connaissances défectueuses sur les forces moléculaires, il y a presque lieu de supprimer ou de modifier l'hypothèse H. On n'a pu, jusqu'à présent, interpréter électriquement d'une façon satisfaisante les forces moléculaires dans les corps en repos.

La nature des forces quasi élastiques supposées qui doivent tendre à mener les électrons dans leur position de repos nous est inconnue. Leur interprétation sur des bases électromagnétiques, serait donnée par la théorie électromagnétique des lignes du spectre. Malheureusement nous ne possédons aucune théorie semblable et nous sommes très loin de pouvoir comprendre complétement les propriétés optiques en nous basant sur la théorie électronique.

Quand on examine la vraisemblance des diverses hypothèses, il faut bien se rappeler que les notions sur la nature des forces moléculaires ou des forces quasi élastiques sont beaucoup moins éclaircies et beaucoup moins accessibles aux vérifications expérimentales que les notions sur la constitution de l'électron négatif libre. On ne sera donc pas disposé à rejeter une théorie qui explique rigoureusement les propriétés de l'électron négatif libre, mais qui n'entre pas d'une façon satisfaisante dans une optique des corps en mouvement, reposant sur les hypothèses H et I. Au contraire, on cherchera à modifier ces deux hypothèses de manière à obtenir une bonne concordance avec la totalité des observations.

Dans le 9e paragraphe de notre ouvrage sur la dynamique de l'électron, nous avons établi des formules pour l'énergie radiée par un électron qui se meut rapidement avec une certaine accélération. Dernièrement, nous avons repris ces formules et montré leur importance pour la théorie du point lumineux en mouvement (annales de Physik 14 p. 273, 1904). Dans ces recherches, l'électron est considéré comme charge ponctiforme. Les résultats sont donc indépendants de toute hypothèse sur la constitution de l'électron ; ils reposent exclusivemant sur les hypothèses fondamentales A à D de la théorie électronique.

Il est vivement à souhaiter que les auteurs qui étudient la théorie des électrons suivent l'exemple de H.A. Lorentz et indiquent d'une façon claire et non équivoque les hypothèses placées à la base de leurs recherches, au lieu de déclarer après coup, exempts d'hypothèses, leurs raisonnements embrouillés.

R. V.

La transmission électrique considérée au point de vue électrostatique par **J. Stanley Richmond.** — Electrical Review, août 1904.

Il semble être admis, lorsqu'il s'est agi et s'agit de la transmission électrostatique ou électrique de l'énergie, que l'on considère ces deux phénomènes comme deux phases distinctes et séparées de la branche de la science désignée sous le nom d'Electricité.

Un principe fondamental, qui sert de point de départ, permet de dire que tous les phénomènes électriques sont dus à l'inégalité existant entre l'état particulier d'un corps et l'état semblable d'un autre corps ; ou mieux, qu'ils sont dûs à l'inégalité, entre deux points, du même état d'un corps. Appelons cet état de la matière son état électrique.

Cela posé, grâce aux connaissances d'électrostatique que nous possédons, nous savons que par différents moyens cet état peut être modifié, augmenté ou diminué, exactement comme nous pouvons hausser ou baisser l'état de la matière connu sous le nom de température, augmenter ou diminuer l'état de la matière connu sous le nom de pression.

Malheureusement, on n'a pas encore pu obtenir un zéro arbitraire satisfaisant, à partir duquel on pourrait effectuer les mesures, ainsi qu'il en est pour les températures et les pressions. Il en résulte que toute mesure d'un état électrique

* * * *

doit avoir son propre zéro, à moins que nous ne fassions simultanément la mesure de l'état électrique de plusieurs corps différents, en les comparant à celle de l'état électrique d'un corps que nous prendrons pour zéro.

Au point de vue électrostatique, tous ceux qui s'occupent d'électricité savent que l'état électrique peut être modifié, en lui faisant subir l'opération généralement désignée par + ou —. Il semble cependant que plusieurs ignorent, ou que quelques-uns oublient, quel est le principe fondamental de la transmission électrique de l'énergie. Un soi-disant courant électrique (courant continu, pour simplifier) n'est ni plus ni moins que la transmission de l'énergie due à la différence de l'état électrostatique aux deux extrémités d'un circuit, état maintenu par un procédé quelconque. Par conséquent, un générateur à courant continu est simplement un moyen de produire et de maintenir constante une différence électrostatique entre deux points.

S'il s'agit, au contraire, d'un générateur à courant alternatif à deux pôles A et B, et si B est à la terre, pendant la première moitié d'un tour, l'état de A va, puisque l'état électrostatique de B est invariable, monter graduellement jusqu'à son maximum supérieur à B; il retombera ensuite jusqu'à ce qu'il devienne le même que celui de B. Pendant la seconde moitié du tour, comme l'état de B ne peut changer, et que la direction de la transmission est inverse de ce qu'elle était dans la première moitié, l'état électrostatique de A va tomber graduellement jusqu'à un minimum inférieur à B, puis remontera graduellement pour prendre le même état que B. L'inverse se produirait pendant chaque moitié de tour, si c'était A au lieu de B qui soit à la terre.

Si l'on met à la terre le point milieu entre les deux pôles, l'état électro-statique de chaque pôle A et B, pendant le premier demi-tour, montera ou tombera respectivement jusqu'à ce que la différence maxima entre leurs états soit atteinte; puis il retombera et remontera respectivement jusqu'à ce qu'ils prennent tous deux le même état. Pendant le deuxième demi-tour, c'est l'inverse qui se produit.

Ce principe fondamental étant bien établi, cherchons à concevoir d'une façon aussi nette que possible quels sont les phénomènes qui entourent la transmission de l'énergie électrique.

1° Tout le monde comprend plus ou moins la théorie chimique de la composition moléculaire de la matière.

2° Ceux qui s'occupent des sciences physiques comprennent la théorie du mouvement des molécules.

3° La majorité connaît la théorie de l'éther.

4° Les différentes conditions qui entourent la réduction des minerais (nous voulons parler des minerais de cuivre), la production, qui en résulte, de lingots de cuivre, et la transformation de ces lingots en fils de cuivre ne sont pas inconnues de la plupart.

5° Que deux corps métalliques séparés l'un de l'autre par une matière différente quelconque constituent un condensateur, et que, dans un condensateur, il résulte d'une manifestation convenable un échange d'électricité, ce sont là des faits connus de tous ceux qui étudient l'électricité.

Du § 1 nous pouvons conclure d'une manière certaine que : il est impossible d'obtenir des molécules, sans que quelque matière sépare une molécule d'une autre.

Il résulte du § 2 d'une façon certaine : que le mouvement moléculaire provient d'une action définie d'une molécule sur une autre molécule.

Nous tirons de l'analyse du § 3, que : l'éther ne peut être décrit d'aucune façon, sous forme ni dimensions. Il est purement hypothétique. Nous sommes donc absolument incapables de le comparer à quoi que ce soit, ou de concevoir une forme à lui donner, de le matérialiser. Il convient par conséquent, si cela est possible, de lui substituer quelque chose à laquelle nous puissions attribuer une forme, et qui dans ces questions de métaphysique, puisse remplir les mêmes desiderata que l'hypothétique éther. Admettons que ce quelque chose soit la matière, qui en se pliant aux circonstances s'attache aux formes d'un corps, et puisse se comparer le plus naturellement à ce que nous pouvons appeler l'élément séparateur entre les molécules d'un tel corps.

Comme conséquence du § 4, en ne considérant que le fil de cuivre, nous pouvons remplacer l'hypothèse de l'éther par la supposition que les molécules sont séparées les unes des autres par quelque chose d'infinitésimal, même plus petit qu'une quantité d'oxyde, poussière ou gaz pouvant être décelée par le microscope. C'est ce que la chimie suppose en général ; quels que soient,

en effet, les soins que l'on apporte à la fusion du métal, il est impossible d'obtenir du cuivre exempt de toute impureté ; mais le cuivre sera d'autant plus pur que la méthode de réduction le sera elle-même.

Il résulte du § 5 que deux molécules quelconques forment un condensateur avec la matière qui les sépare l'une de l'autre. Or, nous savons que, plus le centre d'un câble conducteur sous gaîne est près d'une enveloppe de terre sa capacité est plus grande, ou, en d'autres termes, plus grande est la quantité d'énergie qu'il peut emmagasiner. Mais nous savons aussi que l'énergie est constituée de volumes et de pressions. Par conséquent, plus la quantité de matière séparant deux molécules est petite, plus nous pouvons charger ces molécules. Or, nous avons vu que le cuivre est d'autant plus pur que les quantités de matières séparatrices sont moindres ; nous avons donc prouvé le fait souvent énoncé, à savoir que le cuivre le plus pur est le conducteur le meilleur.

M. J. Stanley Richmond signale à ce sujet un intéressant livre de feu Lord Armstrong intitulé « Mouvements de l'électricité dans l'Air et l'Eau » et relatant des expériences instructives auxquelles il lui a été donné d'assister. Malheureusement, la mort a arrêté l'étude de ces questions de métaphysique auxquelles Lord Armstrong aurait peut-être donné plus d'amplitude et de netteté.

En revenant à la théorie des condensateurs moléculaires, on comprendra facilement que si des molécules se déchargent, après avoir été surchargées, il en résultera un dégagement de chaleur, de telle sorte que si l'on prend une petite quantité de matière, sous forme par exemple d'un filament de charbon, dont les caractères moléculaires (considérés au point de vue chimique, ou bien par rapport au nombre de molécules contenues dans une section donnée) l'empêchent d'être chargé jusqu'à un degré relativement élevé, et qu'on le mette en série avec un fil de cuivre, les molécules de charbon se déchargent dans une telle proportion qu'il en résultera une manifestation de chaleur interne. Et si les dimensions (épaisseur et longueur) du filament ont des proportions telles, ou bien sont équilibrées par rapport aux charges et aux décharges au point qu'une simple décharge produit l'incandescence sans provoquer la désagrégation du filament, nous nous trouvons en présence de la lampe à incandescence du commerce.

Si ce qui précède est exact, il apparaît clairement que ce qu'on appelle conduction et induction sont au fond une seule et même chose, et que toute la science désignée sous le nom d'Électricité est en somme une branche de l'Électrostatique, ou, pour employer une expression plus longue, qu'elle est la science des pressions relatives des conditions électriques de la substance matérialisée.

L. M.

Sur une expérience propre à résoudre la question de savoir si l'éther se meut ou non avec la terre. **W. Wien.** Physikalische Zeitschrift, 1er octobre.

A la réunion annuelle de la British Association de Cambridge, nous avons parlé de la possibilité de résoudre la question, fondamentale pour

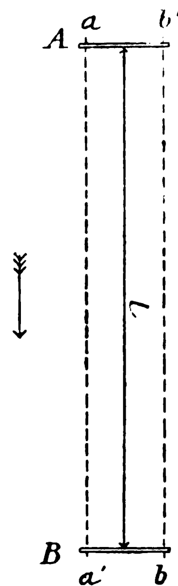


Fig. 1

l'électrodynamique, de savoir si l'éther se meut ou non avec la terre, en mesurant la vitesse de la lumière avec un rayon lumineux qui franchit la distance entre deux points dans une seule direction, sans revenir en arrière. Pour l'exécution de cette expérience, nous avions pensé à la méthode de Foucault dont l'application nécessite l'emploi de deux miroirs tournant à la même vitesse. Il fallait mesurer la vitesse de la lumière une première fois lorsque le rayon se meut entre les deux miroirs dans le sens du mouvement de la terre, et

une seconde fois quand il se meut dans le sens opposé au mouvement de la terre.

Peut-être cependant la méthode de Fizeau se prêterait elle mieux à cette expérience. Représentons-nous deux roues dentées, aussi identiques que possible A et B, placées parallèlement à une grande distance l'une de l'autre. Soient de plus a et b deux sources lumineuses aussi égales que possible dont les rayons passent à travers les dents. Pour une disposition tout à fait symétrique des roues, et tant que celles-ci ne tournent pas, la quantité de lumière mesurée au bolomètre doit avoir la même valeur en a' et en b', au moins lorsqu'on néglige des grandeurs de l'ordre du carré du rapport de la vitesse de la terre v à la vitesse de la lumière c.

Si l'éther se meut avec la terre, les intensités lumineuses en a' et en b' ne doivent pas varier lorsque les deux roues tournent à des vitesses égales: on peut contrôler l'égalité des vitesses de rotation par la constance de la lumière qui traverse les roues ou par la méthode stroboscopique.

Si l'éther est immobile par rapport à la terre, le temps que met la lumière pour aller de a en a' est, en désignant par l la distance entre les roues

$$\frac{l}{c-v}$$

lorsque la terre tourne dans le sens $a\ a'$;
le temps que met le rayon pour aller de b en b est : $\frac{l}{c+v}$

Le mouvement de la terre doit donc produire une dissymétrie, et les intensités en a' et b' doivent être différentes, parce que le rayon lumineux aa' rencontre la roue B dans une autre position que celle où le rayon bb' rencontre la roue A.

Il nous semble que l'expérience n'est pas inexécutable, puisque l'exactitude dans la détermination de la vitesse de la lumière a atteint la valeur nécessaire ici, c'est-à-dire le $\frac{1}{5000}$. Il est vrai que la difficulté serait de rendre bien identiques les vitesses périphériques des roues dentées. D'autre part, le synchronisme n'a pas besoin de durer longtemps, et l'on ne cherche pas à obtenir une mesure absolue, mais seulement à établir une différence entre les deux rayons.

Abstraction faite de son importance pour l'électrodynamique, cette expérience serait la première dans laquelle on mesurerait une vitesse absolue sans se rapporter à des points fixes.

E. B.

Sur les distances explosives dans l'air atmosphérique. B. Walter. Electrotechnische Zeitschrift, 6 octobre.

C. Baur a indiqué (*Electrotechnische Zeitschrift*) comme « Loi des distances explosives pour des substances diélectriques » la formule

$$V = c\, d^{2/3} \qquad (1)$$

où V désigne la différence de potentiel explosive, d l'épaisseur percée de la substance et c une constante. Cette formule n'est pas une loi, mais tout au plus une formule approximative, comme l'a déjà montré Krogh.

Le but de notre étude est de faire remarquer que, spécialement pour l'air atmosphérique qui est au nombre des substances indiquées par Baur — au moins pour des électrodes pointues et des longueurs d'étincelles comprises entre 5 et 45 cms — il existe une loi tout autre, représentée par la formule simple linéaire

$$V = a + bd \qquad (2)$$

où a et b sont deux constantes et V a la même signification que précédemment.

Pour le montrer, nous allons utiliser d'abord les données d'observation utilisées par Baur et trouvées à l'American Institute of Electrical Engineers. Dans le tableau suivant sont indiquées :

Dans la première rangée, les valeurs de d en millimètres ;

Dans la deuxième, les valeurs correspondantes de V observées en volts ;

Dans la troisième (V_B) les valeurs de V calculées au moyen de la formule de Baur ;

Dans la quatrième, les différences en % Δ_B entre ces valeurs et les valeurs observées ;

Dans la cinquième, les valeurs calculées (V_w au moyen de notre formule (2) qui, dans ce cas, est

$$V = 7000 + 350\, d$$

Dans la sixième enfin, les différences en % Δ_w entre celles-ci et les valeurs observées.

On voit que, abstraction faite du premier nombre calculé par nous, pour lequel intervient une autre influence dont nous parlerons plus loin, la concordance entre les valeurs calculées au moyen de nos formules et les valeurs observées est très satisfaisante, et que, dans l'intervalle indiqué, la plus grande de nos différences est inférieure à la plus petite des différences de Baur. Nous devons d'ailleurs faire remarquer que nous avons été

conduit à l'équation (2) par des observations personnelles faites pour des valeurs de d atteignant 45 cm. avant que les résultats trouvés par l'observateur américain nous aient été indiqués dans le travail de Baur. Le tableau 2 résume quelques-unes de nos observations faites sur les étincelles d'une bobine d'induction de 50 cm. portant 189000 tours au secondaire et ayant un noyau de fer magnétiquement fermé d'environ 30 cm. de section : le primaire était constitué par plusieurs

Tableau 1

d en mm	5,7	11,9	25,4	41,3	62,2	118	180	244	301	354	380
V observé	5000	10000	20000	30000	40000	60000	80000	100000	120000	140000	150000
V_B	7600	12500	20700	28700	38000	58000	77000	94000	107000	120000	126000
Δ_B en o/o	—35	—20	—3,4	+4,5	+5,2	+3,6	+4,0	+6,3	+12	+17	+19
V_w	—	—	—	31460	38770	58300	80010	102600	122600	140900	150000
Δ_w en °/o	—	—	—	—4,9	+3,1	+2,0	—0,1	—2,6	—2,6	—0,6	—0,0

couches d'un nombre variable de fils permettant de modifier dans de larges limites le rapport de transformation de l'appareil.

Les rangées V_1 V_2 V_3 du tableau 2 indiquent les valeurs de V trouvées pour les 3 rapports de transformation 1 : 1853, 1 : 1243 et 1 : 1068 ; la rangée V_{obs}. indique les valeurs moyennes de ces trois séries de chiffres ; la rangée V_{calc} indique les valeurs calculées d'après la formule

$$V = 16000 + 311\, d$$

et la rangée Δ donne la différence en % entre V_{calc} et V_{obs}.

Les électrodes étaient constituées par deux pointes de laiton dont l'angle était environ 10° ; la différence de potentiel efficace primaire était toujours mesurée avec des instruments thermiques au moment où l'étincelle jaillissait. La différence de potentiel secondaire était calculée en multipliant la différence de potentiel primaire par le rapport de transformation. La machine génératrice était un groupe convertisseur donnant 150 volts et 50 périodes et pouvant débiter 30 amp. Le rapport entre les tensions efficaces et maxima ne varie pas sensiblement pour les différentes longueurs d'étincelles, comme l'a reconnu

Tableau 2

d en mm.	50	100	150	200	250	300	350	400	450
V_1	34200	44800	62800	78200	93200	109300	123900	136900	152300
V_2	31100	48500	63600	80000	96700	113100	126800	140000	155300
V_3	29500	46400	63000	78600	94000	111100	124900	141000	—
V observé	31600	46600	63100	78900	94600	111200	125100	139300	153800
V calculé	31600	47100	62700	78200	93800	109300	124900	140400	156000
Δ	0,0	—1,1	+0,6	+0,9	+0,9	+1,7	+0,2	—0,8	—1,4

M. Vöge. Ce fait a été confirmé par des observations faites sur les formes du courant alternatif pour de petites et de grandes étincelles au moyen du tube de Braun et dans notre cas, c'était très approximativement une sinusoïde.

Les différences Δ entre les valeurs observées et les valeurs calculées sont extrêmement faibles et la validité de la formule (2) dans ce cas n'est pas douteuse.

Si d'autre part, les grandeurs absolues des valeurs de V que nous avons observées diffèrent de celles du tableau 1, cela tient en majeure partie à la forme différente des courants alternatifs employés dans les deux cas, puisque c'est non pas la valeur efficace, mais la valeur maxima de la tension qui intervient, et que le rapport entre ces deux grandeurs dépend essentiellement de la forme du courant alternatif.

Remarquons ce fait très étrange que la formule 2 n'est valable que pour de grandes longueurs d'étincelles, dépassant 5 cms, et n'est plus valable pour des longueurs plus faibles puisque, naturellement, la valeur de V s'approche de O quand d diminue, tandis que la formule lui assi-

gnerait comme limite inférieure 16000 ou 17000.

Cette anomalie apparente doit être attribuée, à notre avis, à ce que le passage d'une étincelle électrique dans l'air dépend de deux facteurs, la « résistance de passage » aux électrodes et la résistance de la couche d'air interposée. L'existence de la 1re résistance est prouvée par ce fait que la même différence de potentiel produit des étincelles beaucoup plus longues entre points qu'entre sphères ou plaques. Comme exemple, nous rappellerons que E. Voigt avec une différence de potentiel continue de 90000 volts n'a obtenu, entre deux sphères de 6 cm. de diamètre, qu'une étincelle de 4,0 à 4,1 cm., alors que Töpler, avec la même source de courant et la même différence de potentiel, a obtenu entre une pointe positive et une grande plaque négative, une étincelle de 55 cm. de longueur.

Il est clair que, dans toutes ces expériences, la résistance de passage joue un rôle très important. Le fait que notre formule 2 n'est plus valable pour des étincelles de longueur inférieure à 5 cm. nous semble compréhensible en admettant que la résistance de passage est variable pour de petites longueurs d'étincelles et conserve, lorsque la distance explosive augmente, une valeur constante qu'elle atteint pour une longueur de 5 cm.

Si l'on fait en outre l'hypothèse très plausible que la résistance de la couche d'air est proportionnelle à la longueur, il vient :

$$w = \alpha + \beta d \qquad (4)$$

où α et β sont deux constantes : en réunissant les équations 2 et 3 on trouve un résultat très intéressant :

$$\frac{V - a}{w - \alpha} = \frac{b}{\beta} = \text{const} \qquad (4)$$

La grandeur $V - a$ est évidemment la différence de potentiel nécessaire pour vaincre la résistance de l'air seule — indépendamment de la résistance de passage — c'est-à-dire représente la différence de potentiel aux extrémités de la veine gazeuse elle-même : $w - \alpha$ représente la résistance de cette veine. Le rapport $\frac{V - a}{w - \alpha}$ doit donc représenter le courant qui prend naissance au moyen où l'étincelle éclate.

D'après l'équation 4, ce courant est constant pour toutes les longueurs d'étincelles, c'est-à-dire en d'autres mots :

Dans les conditions dont il s'agit, la valeur du courant ionisant qui traverse l'air au moment de la production de l'étincelle est la même pour toutes les longueurs d'étincelles. — Ou bien encore : la production d'une étincelle exige une valeur minima du courant d'ionisation de l'air constante pour toutes les étincelles.

L'expression « courant d'ionisation » est employée parce que l'on a affaire à un courant qui tient le milieu entre le courant de conduction ordinaire et le courant de déplacement qui joue un si grand rôle en électrostatique.

E. B.

TRANSMISSION & DISTRIBUTION

Surtensions dans les installations à courants triphasés, par **P. Humann**. — (Elektrotechnische Zeitschrift. t. xxv. n° 41, 13 octobre 1904. p. 883).

C'est un fait bien connu que dans les installations à courants alternatifs monophasés avec câbles concentriques, de fausses manœuvres des appareils ou la fusion de coupe-circuits peuvent amener le percement de l'isolant et la mise en communication du conducteur extérieur avec le revêtement métallique. La connaissance des causes de ce phénomène a conduit à la règle suivante : Connecter en premier lieu le conducteur extérieur et déconnecter d'abord le conducteur intérieur.

Mais des élévations de tension considérables, et par suite des détériorations de câbles et de machines, peuvent se produire également dans les installations à courants triphasés. Le fait se produit, par exemple, si, par suite de fausses manœuvres ou après fusion de sécurités, il arrive que dans une installation composée d'un générateur, d'un câble et d'un transformateur marchant à vide, la jonction d'un conducteur avec le générateur est enlevée à l'origine, et celle d'un autre conducteur avec le transformateur se trouve supprimée à l'extrémité du cable.

Une telle disposition est représentée schématiquement par la figure 1. A gauche est le générateur avec ses bornes I, II et III, et à droite le transformateur 1, 2, 3. Le câble reliant les deux appareils peut être figuré par les trois capacités C_1 C_2 C_3 ; les jonctions des conducteurs au générateur et au transformateur sont *a*, *b*, *c*, *d*, *e* et *f*. Comme on le voit sur la figure, la jonction *b* est supprimée à l'origine et la jonction *d* à l'extrémité. Ceci est pratiquement possible, soit par inattention, soit par fusion des sécurités.

Dans les conditions indiquées, le circuit sui-

vant se trouve formé : borne I du générateur, *a*, capacité C_2, *e*, transformateur à vide 3-2, *f*, *c*, et borne II du générateur. Le condensateur C_2 se trouve ainsi monté parallèlement au générateur et le condensateur C_1 parallèlement au transfor-

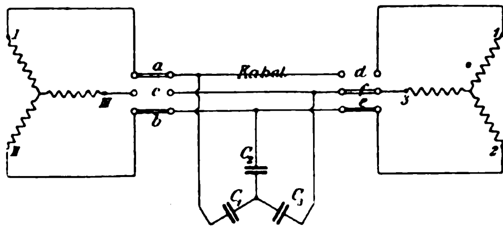


Fig. 1

mateur. La figure 2 montre plus clairement ce montage, et on voit que la résonance peut se produire.

Au laboratoire de la maison Felten et Guilleaume, Carlswerk A. G. à Mülheim, on combina un tel circuit avec trois condensateurs

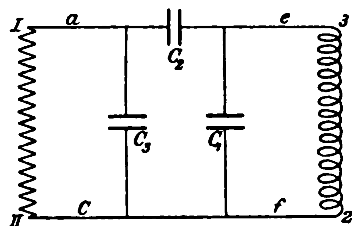


Fig. 2

en mica et une bobine de self-induction à noyau de fer. On avait

$$C_1 = C_2 = C_3 = 1 \text{ microfarad.}$$

L'impédance de la bobine d'induction était $R_\omega = 1310$ ohms, la résistance ohmique $R = 164$ ohms, et la self-induction $L = 3{,}4$ henrys. Ces valeurs ont été déterminées par des mesures de courant, de tension et de puissance, mesures exécutées avec courant sinusoïdal de 61 périodes.

Pour une tension génératrice de 14 volts, on mesura aux condensateurs les tensions suivantes :

au condensateur	C_1,	120 volts
—	C_2,	126 —
—	C_3,	14 —

Ces tensions furent mesurées au moyen d'un voltmètre statique dont la capacité est négligeable vis-à-vis de 1 microfarad.

D'après cela se trouvait donc appliquée au condensateur C_2, c'est-à-dire au câble, une tension 9 fois plus élevée que la tension génératrice.

Il est évident qu'en pratique de telles surtensions peuvent occasionner les plus graves accidents (1).

Dans les développements précédents, le câble a été représenté par le montage en triangle de 3 condensateurs. Comme cette disposition n'est pas absolument exempte d'objections, d'autres expériences furent recommencées avec des condensateurs montés en étoile. La représentation d'un cas pratique est donnée en la figure 3. Le cou-

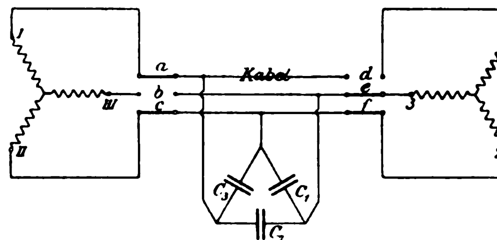


Fig. 3

rant a maintenant le parcours suivant : borne I du générateur, *a*, C_1, C_3, *f*, 3-2, *b* et retour à la borne II. Le condensateur C_2 est ainsi monté en parallèle avec le condensateur C_3 et la self-induction 3-2 ; cette disposition ressort plus clairement de la figure 4.

(1) Si l'on calcule pour la self-induction ci-dessus $L = 3{,}4$ la capacité nécessaire à la résonance pour 61 périodes, on trouve 2 microfarads. Effectivement un montage en série du générateur avec la bobine d'induction et un condensateur de 2 microfarads donna la pleine résonance, en produisant de nouveau au condensateur une tension de 126 volts pour une tension génératrice de 14 volts.

Dans l'expérience ci-dessus (fig. 2), la résonance avec un condensateur de 1 microfarad seulement est produite par la combinaison de la même self-induction $L = 3{,}4$ montée en parallèle avec un condensateur de 1 microfarad. On vérifie facilement, par des mesures et par le calcul, que la self-induction résultante de cette combinaison est d'environ 6,8 henrys, c'est-à-dire le double de celle qui entre en résonance avec 2 microfarads.

Par des mesures de courant, de tension et de puissance faites avec des instruments relativement peu sensibles, on trouva en effet, pour la combinaison — self-induction et capacité parallèles —

$$R_\omega = 2760$$
$$R = 438$$
$$L = 7{,}1$$

La valeur 7,1 de la self-induction est voisine de la valeur théorique 6,8 $\left(\frac{10^6}{\omega^2\, 1}\ 6{,}8\right)$, et d'autre part. l'impédance obtenue par cette mesure concorde suffisamment avec la valeur $R\omega = 2600$ déduite de la formule donnant la résistance du montage parallèle d'une bobine avec un condensateur

$$R_\omega = \frac{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}{\sqrt{(1-\omega^2 CL)^2 + \omega^2 C^2 R^2}}$$

Comme dans le premier cas, on avait :

$C_1 = C_2 = C_3 = 1$ microfarad

La self-induction fut changée jusqu'à l'obtention de la résonance, c'est-à-dire jusqu'à ce que les plus forts accroissements de tension fussent observés aux condensateurs séparés. Un électromètre donna alors, pour une tension génératrice de 15 volts, les tensions suivantes :

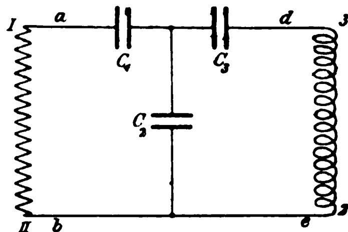


Fig. 4

au condensateur	C_1	,	35 volts
—	C_2	,	40 —
—	C_3	,	84 —
à la self-induction 3-2		,	128 —

On voit encore que, dans ce cas, la tension produite au condensateur C_3 est près de 6 fois la tension génératrice.

La résonance correspondait à une self-induction 3-2 de 10,2 henrys (1).

Or la self-induction qui donne la pleine résonance avec une capacité de 1 microfarad pour 61 périodes est d'environ 6,8 henrys (v. 1re note, p. 382). Mais la combinaison qui entre en résonance dans le cas actuel avec le condensateur C_1 se compose de 2 branches parallèles : l'une formée par le condensateur C_2, l'autre par le montage en série du condensateur C_3 et de la self-induction 3-2. Et, en prenant pour celle-ci la valeur 10,2 déterminée pour la résonance, on trouve facilement par le calcul que la self-induction résultante de toute la combinaison est encore environ 6,8 henrys comme dans le cas précédent (1).

Les mesures communiquées montrent clairement, quel que soit le mode de représentation d'un câble triphasé par des capacités, qu'il peut se produire des élévations de tension très importantes, lorsqu'à l'origine et à l'extrémité du câble sont supprimées des jonctions sur des phases différentes.

J. K.

(1) Pour déterminer la self-induction de la bobine employée, on la monta en série avec un condensateur variable. La source de courant fournissait, comme pour toutes les mesures, un courant sinusoïdal de 61 périodes. La tension de la machine étant maintenue à 10 volts, on lut au condensateur, pour différentes valeurs de sa capacité, les tensions suivantes :

pour C = 0,8 microfarad	,	53 volts.
C = 0,7 —	,	115 —
C = 0,6 —	,	86,5 —
C = 0,5 —	,	30 —

La représentation graphique de ces valeurs indique un maximum de tension, correspondant à la résonance, pour

$$C = 0{,}67 \text{ microfarad.}$$

La self-induction produisant la résonance avec cette capacité est par suite

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{10^6}{(2\pi.61)^2 \times 0{,}67}$$

ou

$$L = 10{,}2 \text{ henrys.}$$

Des mesures directes de courant et de tension donnèrent d'ailleurs, en négligeant la résistance ohmique de la bobine

$$\omega L = \frac{E}{I} = \frac{102}{0{,}026} = 3900,$$

D'où

$$L = \frac{3900}{2\pi \times 61} = 10{,}2.$$

(1) L étant la self-induction de la bobine, la self-induction résultante L' du montage en série de C_3 avec la bobine (fig. 4) est :

$$L' = L - \frac{1}{\omega^2 C} = 10{,}2 - \frac{10^6}{(2\pi.61)^2.1}$$

ou

$$L' = 3{,}38$$

D'autre part, en négligeant la résistance ohmique de la branche C_3-3,2, on obtient pour l'impédance de la combinaison — C_2 monté en parallèle avec C_3, 3-2 —

$$\omega L'' = \frac{\omega L'}{1-\omega^2 CL'}$$

D'où

$$L'' = \frac{L'}{1-\omega^2 CL'} = \frac{3{,}38}{1-0{,}496} = 6{,}72$$

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

La théorie et la pratique en télégraphie sans fil. — **J. Zenneck.** — Physikalische Zeitschrift (1er octobre).

Depuis que Wien (Ann. Physik, 1902) a nettement exposé les points principaux dont il s'agit pour l'emploi de systèmes accouplés en télégraphie sans fil, il a paru plusieurs études consacrées à des questions spéciales. Un certain nombre de ces études sont importantes même si les résultats auxquels elles conduisent ne sont pas applicables à la télégraphie sans fil ou sont déjà connus, parce qu'elles contribuent à éclaircir des questions générales. Si, dans ce travail, nous examinons ce que ces études peuvent contenir d'utile ou de nouveau pour la pratique de la télégraphie

sans fil, ce n'est nullement dans l'intention de les critiquer; nous désirons, au contraire, attirer l'attention sur les conditions véritables de la télégraphie sans fil qui, semble-t-il, sont peu connues, et rendre ainsi pratiquement utilisables les études de ce genre.

1) M. Huth (Dissert. Rostock 1904) a étudié en laboratoire diverses questions importantes pour la télégraphie sans fil. Mais ses dispositifs ne réalisent pas du tout les conditions que l'on rencontre en pratique (1). On peut donc adresser à ces expériences, la même critique qu'il adresse à celles de M. Voller, que l'on ne peut en tirer aucune conclusion pour la pratique de la télégraphie sans fil.

2) M. Drude a étudié en partie théoriquement, et en partie expérimentalement les propriétés électriques et les oscillations propres des bobines de fil avec fils droits ou plaques métalliques suspendus et exprime au début de son étude le souhait qu'elle puisse servir à la construction de transmetteurs et de récepteurs de télégraphie sans fil accordés l'un sur l'autre. Plus loin, trouvant une différence de 5 0/0 entre la longueur d'onde observée et la longueur d'onde calculée, l'auteur dit ceci : « En télégraphie sans fil, lorsqu'on opère avec des antennes suffisamment longues, placées assez loin des bâtiments, on se rapproche beaucoup plus des conditions théoriques d'un fil libre. » Or, il suffit de regarder comment sont construits les mâts des postes stationnaires de télégraphie sans fil avec leurs haubans pour voir qu'on est bien loin des conditions théoriques d'un fil libre. Dans les stations installées à bord des bateaux, c'est encore bien pis, et il ne peut être question de calcul d'aucune sorte, puisqu'il suffit d'approcher le doigt d'un mât métallique pour en tirer une étincelle de plusieurs millimètres.

D'ailleurs, le besoin ne se fait pas sentir de pouvoir déterminer par le calcul, les oscillations propres du système transmetteur. La méthode de résonnance de Bjerkness, grâce à laquelle on trouve expérimentalement la fréquence d'un système quelconque pas trop amorti, permet toujours de déterminer rapidement et commodément la période d'un système transmetteur.

3) En résumant à la fin de son étude les résultats acquis, Drude dit ceci : « L'avantage qu'offre l'emploi des antennes dans les transmetteurs de télégraphie sans fil est un allongement de la période, mais surtout une augmentatiou de la radiation. Les antennes épaisses réalisent particulièrement ces deux conditions; les antennes multiples sont donc avantageuses puisqu'avec une grande économie de poids, elles remplacent les antennes épaisses. L'auteur admet qu'une antenne multiple (en cage) agit comme une antenne simple constituée par un fil de plus grand rayon. Or, il est impossible de trouver dans l'étude de Drude, qui n'envisage absolument pas la radiation, une preuve que l'antenne multiple soit équivalente, au point de vue de la radiation, à une antenne simple de plus grand rayon.

Le rapport entre l'antenne simple et l'antenne multiple en ce qui concerne la radiation est le suivant :

1° La capacité d'une antenne multiple est, pour des longueurs égales, plus grande que celle d'une antenne simple. D'après les travaux de Wien (Ann. Physik, 1902), on voit facilement que l'amplitude du courant dans le système secondaire du transmetteur est, pour une amplitude de tension donnée, à peu près proportionnelle à

$$\sqrt{C_1C_2}$$

(C_1 capacité du primaire; C_2 capacité du système secondaire).

D'après M. Abraham (Physikalische Zeitschrift, 1904), c'est l'amplitude du courant qui est importante pour la radiation d'un transmetteur vertical. Il en résulte que, toutes les conditions restant les mêmes, pour une même amplitude de tension du système primaire, la valeur absolue de l'amplitude de radiation est plus grande dans les antennes multiples que dans les antennes simples.

2° En outre, dans les antennes multiples, la grandeur de l'énergie radiée relativement à l'énergie en jeu, c'est-à-dire le décrément de radiation est plus grand que pour des antennes

(1) La relation entre la radiation et la longueur de l'antenne d'émission et de réception a été étudiée dans une chambre par M. Huth avec une longueur d'antenne variant entre 267 et 50 cms et avec une distance de 220 cms entre le transmetteur et le récepteur.

L'influence de la mise à la terre sur le transmetteur a été étudiée avec le dispositif suivant : la longueur de l'antenne verticale transmettrice était 1 mètre. L'autre borne de l'éclateur était reliée à la prise de terre par un fil vertical de 1 mètre. La prise de terre était constituée par un fil de cuivre de 6 mètres de longueur terminé par un tube de laiton de 1 mètre enfoncé dans la terre.

simples. Cela résulte de mesures effectuées par Brandes. L'emploi d'antennes multiples permet donc une meilleure utilisation de l'énergie primaire.

3° Dans sa dernière étude (Ann. Physik, 1904), Drude s'occupe de la question de savoir comment doit être construit le primaire d'un transformateur Tesla à accouplement rigide pour donner les meilleurs résultats. Il arrive à cette conclusion que l'on doit avoir une capacité aussi grande que possible et une self-induction aussi petite que possible, c'est-à-dire que pratiquement, il faut :

1° Un seul tour au primaire;

2° Aussi peu de dispersion que possible.

Ces conditions sont connues et nous les avons remplies dès 1899 dans nos expériences de télégraphie sans fil. Nous avons vu qu'il était même un peu plus avantageux de prendre, au lieu d'un tour de fil au primaire, plusieurs tours reliés en parallèle; ce dispositif a été adopté aussi par Marconi et Fleming en 1901 et l'on sait depuis longtemps qu'il est mauvais de mettre au primaire plusieurs tours de fil en série.

4° Drude trouve que pour un dispositif Tesla, le degré d'accouplement $K' = 0,6$ donne le maximum d'amplitude de la tension dans le système secondaire

$$\left(K'^2 = K^2 - \left(\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2\pi}\right)^2\right.$$

K étant le coefficient d'accouplement, γ_1 et γ_2 les décréments logarithmiques des systèmes primaire et secondaire.

Il est établi depuis longtemps que l'action d'un dispositif Tesla ou d'un transmetteur de Braun est maxima pour un degré d'accouplement déterminé, mais il n'est pas exact, d'une façon générale, que le maximum soit atteint exactement pour $K' = 0,6$ comme le montrent les calculs de Drude. On peut le voir par les mesures suivantes : nous avons fait agir un circuit primaire sur un circuit secondaire en résonance avec lui et avons modifié l'accouplement. L'amplitude maxima de l'oscillation dans le circuit secondaire était mesurée approximativement par la distance explosive d'un éclateur F. Pour déterminer le degré d'accouplement, c'est-à-dire le facteur K', nous avons étudié avec un circuit variable de mesure comprenant un condensateur et un bolomètre, la courbe de résonance des oscillations dans le circuit secondaire. Des sommets des courbes de résonance, on déduit, au moins approximativement, les fréquences n_1 et n_2 des deux oscillations dans le circuit secondaire, d'où l'on tire le facteur K' d'après l'équation

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{1 + K'}{1 - K'}}$$

Les courbes, obtenues en augmentant peu à peu l'accouplement, sont représentées en *a b c d* (fig. 1). Les coefficients d'accouplement qui s'en

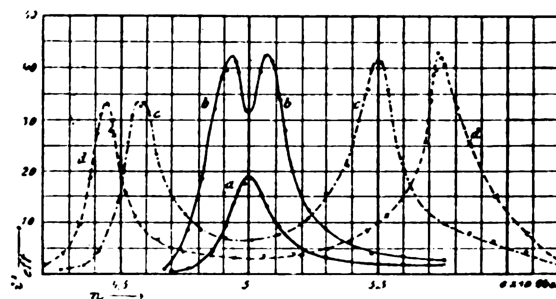


Fig. 1

déduisent, et les distances explosives observées à l'éclateur pour les différents accouplements, sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	K'	F
a	—	1,2 mm
b	environ 0,02	2,7 —
c	— 0,18	3,2 —
d	— 0,25	3,1 —

L'amplitude maxima dans le système secondaire atteint donc son maximum déjà pour $K = 0,18$, c'est-à-dire pour un accouplement beaucoup plus lâche (imparfait) que celui qui correspondait à $K' = 0,6$.

Nous attribuons la raison de cet écart considérable à ce que Drude était obligé de supposer constant l'amortissement du circuit primaire, tandis que, vraisemblablement, la résistance de l'étincelle dans le circuit primaire varie avec l'accouplement et la modification de l'oscillation qui en résulte.

De ce que l'amplitude maxima dans le système secondaire est proportionnelle à Fw_1 (F différence de potentiel initiale dans le système primaire, w_1 résistance de ce dernier, identique en pratique à la résistance de l'étincelle), Drude tire la conclusion que l'action du Tesla dépend peu de la différence de potentiel primaire F à l'intérieur de certaines limites.

La façon dont croît la différence de potentiel initiale F avec la longueur d'étincelle dépend, pour les longueurs relativement grandes, du rayon des sphères de l'éclateur. Pour de grosses sphères (par exemple de 2,5 cm de rayon), jusqu'à 4 cm de distance explosive la différence de potentiel croît encore très rapidement avec la distance explosive, quoique non proportionnellement à celle-ci. Pour de petites sphères (de rayon inférieur à 1 cm.) la différence de potentiel, même à partir d'une distance explosive de 1 cm., croît très peu avec la distance explosive.

La façon dont varie la résistance w_1 de l'étincelle avec la longueur dépend principalement de la valeur de la capacité dans le circuit du condensateur. Pour des capacités dépassant 200 cm. jusqu'à environ 0,5 cm de distance explosive, la résistance de l'étincelle ne croît pas avec sa longueur, mais décroit. A partir de cette longueur, elle croît avec la longueur d'étincelle, mais très différemment suivant la capacité ; très rapidement pour des capacités relativement faibles, et lentement pour de fortes capacités.

On ne peut donc rien dire de général sur l'allure de F w_1. Les deux courbes de la fig.2

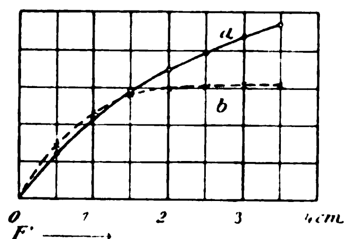


Fig. 2

montrent combien cela dépend des circonstances. Ces courbes ont été obtenues en portant en abscisses les longueurs d'étincelle dans le système primaire et en ordonnées les distances explosives au secondaire entre très grosses boules (rayon 5,7 cm.). La courbe *a* est relative à un transformateur Tesla dans lequel la capacité primaire était 246 cm et le rayon des sphères de l'éclateur 0,75 cm ; la courbe *b* est relative à un dispositif dans lequel la capacité primaire était 984 cm et le rayon des sphères 2,5 cm : quoique la différence entre les deux cas soit assez faible, les courbes ont des allures très dissemblables.

Il est certainement exact qu'il existe certaines limites entre lesquelles l'amplitude de la tension secondaire ne varie que très peu quand on augmente la différence de potentiel primaire. Mais dans les conditions de la télégraphie sans fil, où la valeur des capacités primaires atteint dans les stations relativement importantes 10.000 à 40.000 cm., et, dans les très grosses stations 200.000 cm., et où de plus les éclateurs sont constitués par des calottes de très grandes sphères, l'amplitude maxima dans le système secondaire croît d'une façon relativement rapide avec la différence de potentiel primaire, tout au moins jusqu'à environ 4 cm de distance explosive. En réalité, on emploie en pratique des distances explosives atteignant 4 cm.

7. Drude donne une méthode pour déterminer l'amortissement de l'oscillateur et du résonateur, et la fréquence du résonateur, Dans cette méthode on détermine l'amplitude maxima (valeur maxima du potentiel V_2) des courbes de résonance et l'auteur propose de la déterminer expérimentalement au moyen d'un micromètre à étincelles, ou mieux par la déviation électrique des rayons cathodiques, d'un tube de Braun.

En télégraphie sans fil il s'agit de fréquences de l'ordre de 10^6 : or, à ces fréquences, le tube de Braun n'est plus utilisable. S'il était utilisable, il permettrait de déterminer directement l'amortissement. Pour pouvoir évaluer l'amplitude maxima d'après la distance explosive, il faudrait connaître la relation entre la distance explosive et l'amplitude de tension pour les oscillations rapides. A notre connaissance, on ne connaît presque rien sur ce point (1). Il nous semble que la méthode de M. Drude, abstration faite d'autres considérations, manque de fondement.

En ce qui concerne la détermination de l'amortissement en télégraphie sans fil, la méthode de Bjerkness donne de très bons résultats. Il est seulement recommandable de faire varier, dans le circuit résonant, la capacité et non le coefficient de self induction, et de faire les mesures au moyen d'un bolomètre placé dans un circuit induit.

La méthode donne, avec une exactitude suffisante, les amortissements du primaire et du secondaire, et la fréquence de l'un des deux circuits si l'on connaît celle de l'autre.

R. V.

(1) Bjerkness a indiqué que, dans les mesures faites avec des oscillations produites par un grand oscillateur de Hertz, on obtient des résultats faux en employant les relations entre la distance explosive et la différence du potentiel valable pour des charges statiques.

DIVERS

***Le condensateur électrolytique à Aluminium*, par C. I. Zimmerman.** Electrical Review N. Y. t. XLIV. p. 657-661.

Dans une communication au Congrès récent de la Société Electrochimique américaine, l'auteur examine d'abord le rôle de la pellicule d'oxyde ou l'hydroxyde d'aluminium qui se forme à la surface de la plaque métallique.

La formation de cette pellicule dépend de la nature de l'électrolyte, de la valeur de la tension appliquée, de la durée de la formation et de la température du bain.

Au moyen des couleurs d'interférence, l'auteur évalue l'épaisseur de la pellicule de $10^{-6} \times 5$ à $10^{-5} \times 5$ centimètres.

Cette couche assymétrique constitue un diélectrique que l'on peut considérer comme capable de prendre des charges positives du côté seulement qui est en contact avec le métal, et des charges négatives de l'autre côté exclusivement. La résistance à la décharge disruptive de cette pellicule semble plus élevée que celle du mica.

Le pouvoir inductif spécifique n'est pas égal à 1 comme certains l'ont prétendu ; W. R. Mott, de l'Université du Wisconsin l'estime à 80 environ.

Un élément formé de deux électrodes recouvertes de semblables pellicules ne laissera pas passer de courant continu ; et vis-à-vis du courant alternatif, il se comportera comme un condensateur ordinaire.

L'auteur considère un élément formé de deux électrodes en aluminium recouvertes de la pellicule et plongées dans un électrolyte capable d'entretenir la continuité des pellicules au moyen de l'oxydation électrochimique. Les pellicules constituent deux diélectriques permettant le passage du courant de l'électrolyte à l'électrode, mais non en sens inverse, et ne pouvant conserver des charges positives qu'au voisinage du métal.

Si l'on considère un tel élément placé dans le circuit d'une force électro-motrice alternative, au moment où cette dernière est nulle et si l'électrode 1 est supposée devenir positive par rapport à l'électrode 2, un courant naîtra dans le circuit dans le sens de 1 vers 2. La pellicule de 1 prendra une charge électrostatique dont le potentiel croit jusqu'à la tension aux bornes de l'élément, tandis que la pellicule de 2 laissera le courant s'écouler librement.

Quand la tension appliquée décroît, le courant s'arrête, puis la pellicule 1 tend à se décharger dans le circuit. L'électrode 2 devient l'anode et la pellicule 2 prend une charge électrostatique, positive du côté du métal. Quelle que soit la variation ultérieure de la tension aux bornes, la charge prise à l'une des pellicules doit se retrouver entièrement sur l'autre et on a, par suite un condensateur sur lequel la charge totale reste constante, en admettant, toutefois que les tensions résultantes aux bornes de l'élément ne croissent pas au delà du maximum de la tension qui produit l'accumulation électrostatique dans l'élément. (1)

Si l'une des pellicules perd une charge q que reprend l'autre pellicule, il en résulte un abaissement de potentiel e sur la première et la même élévation sur la seconde. La somme arithmétique de la tension entre les deux pellicules est donc constante, et égale au maximum de la tension appliquée aux bornes. Les deux tensions pelliculaires sont en opposition et la somme algébrique de leurs valeurs instantanées est égale à la valeur instantanée de la tension appliquée.

L'existence d'une charge électrostatique constante des électrodes, entraîne celle d'une différence de potentiel entre l'intérieur de l'élément et un point du circuit antérieur, qui sera un point neutre pour la force électromotrice alternative.

Le point milieu d'une bobine de self-induction placée en dérivation sur les bornes de l'élément réalisera ces conditions. Dans la fig. 1, G désigne un alternateur, A le condensateur à aluminium, I la bobine de self-induction. Une tige de charbon R, plongée dans l'électrolyte permet de prendre le potentiel du liquide. On néglige la tension de polarisation à la surface du charbon. La tension entre les points c et o est une différence de potentiel continue. Donc la tension entre c et l'une des bornes a et b est la résultante d'une tension continue égale à la moitié de la tension maxima aux bornes de l'élément et une

(1) On peut mettre en évidence l'existence de cette charge constante, en séparant l'élément du circuit, en mettant les électrodes en court-circuit et en plaçant un voltamètre entre les électrodes et une tige de charbon plongée dans l'électrolyte ; on constate toujours une décharge allant des électrodes à l'électrolyte. La mise en court-circuit revient à séparer l'élément à l'instant où la force électromotrice alternative est nulle. Dans ces mêmes conditions, un condensateur ordinaire est complètement déchargé.

tension alternative de valeur efficace égale à la moitié de la valeur efficace de la tension appliquée.

La valeur théorique avec une force électro-motrice alternative sinusoïdale serait 0,866 E. En pratique, on trouve 0,77 E ; parce que l' « asymétrie » du conducteur électrolytique n'est pas parfaite,

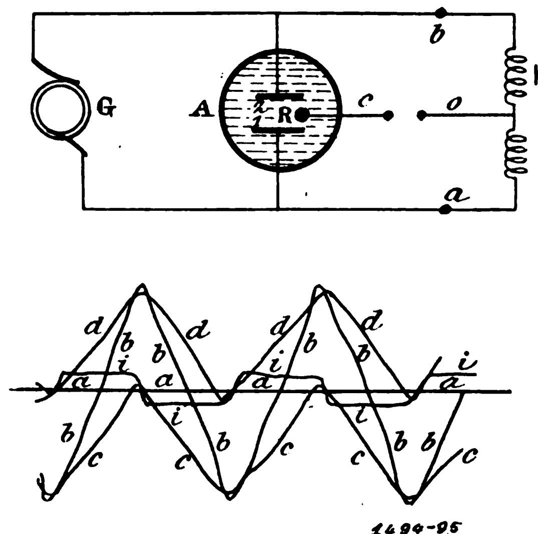


Fig. 1 et 2

et parce que les tensions de polarisation et les pertes d'énergie modifient le résultat.

La fig. 2 représente le relevé oscillographique de tension et courants superposés d'un élément de 40 microfarads; *bb* est la tension appliquée, *cc*, la tension entre une des électrodes et l'électrolyte, *dd*, la même tension pour l'autre électrode, *ii* est le courant de charge du condensateur.

Le fonctionnement de cet élément comme condensateur repose sur la variation d'énergie résultant des changements de distribution de la charge électrostatique constante à l'intérieur de l'élément. Soit E_m la tension maxima alternative et Q la charge prise par l'une des pellicules sous l'effet de cette différence de potentiel, la charge sur l'autre pellicule est nulle, à ce moment.

L'énergie W_1 emmaganisée par le condensateur au même moment est

$$W_1 = \frac{1}{2} QE_m$$

Quand la tension appliquée passe par zéro, chaque péllicule possède la moitié de là charge totale à une tension égale à la moitié de la tension maxima E_m, et l'énergie emmagasinée à cet instant est

$$W_2 = 2\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{Q}{2}\cdot\frac{E_m}{2}\right) = \frac{1}{4} QE_m$$

L'énergie emmagasinée pendant une période, varie donc du simple au double.

Avec une tension appliquée sinusoïdale, le courant de charge est lui-même sinusoïdal, et l'élément se comporte comme un condensateur à feuilles métalliques; mais un condensateur à aluminium n'absorbe et ne restitue périodiquement que la moitié de l'énergie qu'il peut emmagasiner. La capacité électrostatique déduite du courant de charge n'est donc que la moitié de celle d'une pellicule, puisque au moment de la charge maxima, cette dernière se trouve entièrement sur une des pellicules. Jusqu'à un certain point, un condensateur à aluminium peut être assimilé à deux condensateurs à feuilles d'étain en série, mais chacun de ses éléments supporte à certains moments, la charge et la tension totales, qui sont toujours également réparties sur les deux condensateurs à feuilles d'étain.

Comme dans tous les condensateurs, le courant de charge dépend ici non seulement de la tension et de la fréquence, mais encore de la forme des courbes de tension et des harmoniques supérieurs.

Les pertes de l'élément à aluminium sont:

1° les pertes dans la pellicule.

2° les pertes par effet joule.

3° les pertes par décomposition électrolytique.

Les premières sont les plus importantes et comportent des pertes par conductibilité et d'autres qui dépendent de la fréquence. Le courant semble traverser uniformément la pellicule diélectrique, mais il se produit aussi des ruptures locales, d'autant plus nombreuses que la tension est plus élevée. Néanmoins, l'auteur a pu élever la tension jusqu'à 1250 volts, sans provoquer la rupture de la pellicule.

Les pertes proportionnelles à la fréquence ne semblent pas d'un caractère bien défini.

Les pertes par effet joule sont ici moins élevées qu'avec les condensateurs où l'on utilise la capacité de polarisation, et qui, pour cette raison, ont des applications limitées.

L'existence de ruptures locales à des points où les pertes croissent rapidement est une qualité très appréciable de ces condensateurs, en ce qu'ils empêchent les surélévations de tension.

Ces ruptures se réparent d'ailleurs très aisément par l'action électrolytique.

En général on peut dire que la tension pour un élément doit être limitée pratiquement à 150 volts; le rendement varie de 93 à 97 %.

Le poids, le volume et le prix par microfarad sont de beaucoup inférieurs à ceux des condensateurs à feuille d'étain, à voltage égal.

La capacité électrostatique des condensateurs à aluminium, pour 110 volts, peut être estimée grossièrement de 0,06 à 0,13 microfarad par centimètre carré de plaque d'aluminium.

P.-L. C.

Le podographe Ferguson.

Le but de cet appareil est d'enregistrer, sur une feuille plane de papier, et ce, en grandeur et en direction, le chemin parcouru par le porteur de l'appareil, opération qui peut être de la plus grande utilité aux explorateurs, aux armées, etc; il est destiné à permettre le relevé des trajets décrits sans devoir recourir aux complications de la topographie ordinaire.

Il est basé sur le principe du passomètre, qu'il convient de ne pas confondre avec le podomètre, dont les indications sont le plus souvent empiriques; cet instrument indique, en kilomètres ou en milles le chemin parcouru et est pourvu de vis de réglage devant permettre de mettre l'appareil en concordance avec la grandeur du pas de l'opérateur; le passomètre, au contraire, se borne à indiquer le nombre de pas effectués; son exactitude dépend du choix du contrepoids qui doit être pris tel que chaque pas de l'opérateur ne puisse produire qu'un seul avancement du mécanisme; dans l'un comme dans l'autre instrument, la valeur des indications lues, au point de vue de la détermination des distances, dépend de l'uniformité qui, à la vérité, n'est guère escomptable que dans une mesure restreinte.

Basé, avons-nous dit sur le principe de ces instruments, le podographe est sujet, jusqu'à un certain point, aux mêmes erreurs; mais en rendant le marteau plus lourd, on a évité les faux rebondissements qui peuvent produire un avancement inexact du mécanisme: d'autre part, l'opérateur ayant la faculté de repérer quelques points connus du trajet parcouru, les erreurs résultant du manque d'uniformité de la marche deviennent moins sensibles.

L'organe essentiel du podographe est le «recorder» ou chariot dont nous allons voir la constitution.

Il se compose (fig. 1) d'un marteau, formé de deux masses métalliques *a*, suspendues à l'une des extrémités d'un levier à bras inégaux, et sur le bras le plus court *b* duquel agit un ressort à boudin. A chaque pas que fait l'expérimentateur,

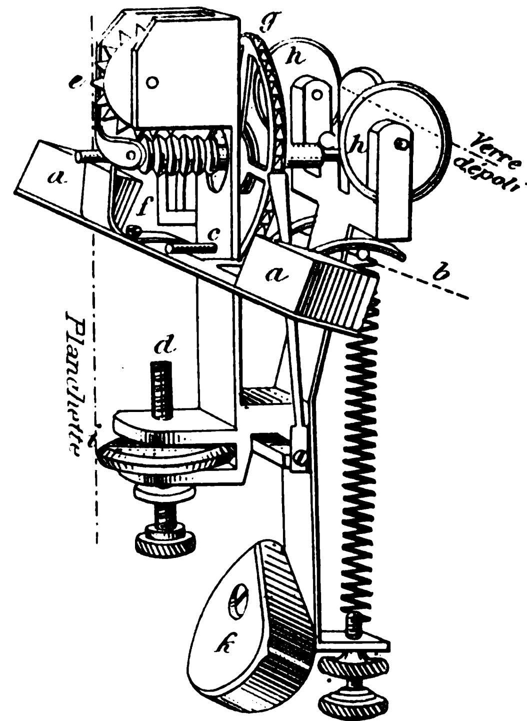


Fig. 1

la secousse verticale imprimée au système produit le balancement du marteau; l'amplitude de l'oscillation est limitée par une goupille fixe *c* et une vis de réglage *d*. En faisant agir un long ressort à boudin sur un bras de levier court, on obtient une uniformité de tension qui ne pourrait guère être réalisée autrement et qui est indispensable. Le marteau joue, en somme, le rôle de mécanisme d'échappement; chacune de ses oscillations permet l'avancement d'une roue dentée *g*, qui se déplace d'un nombre plus ou moins considérable de dents selon l'amplitude du mouvement du vibrateur.

Ces différentes parties, avec leur support, constituent le chariot.

Le chariot est légèrement comprimé entre une planche à dessin verticale, sur laquelle est tendue une feuille de papier, et une plaque de verre mat parallèle à la planchette. Il repose sur la

feuille de papier au moyen d'une roue à dents aiguës *e* et d'une petite roue lisse *i* placée un peu plus bas que la première ; d'autre part, en fermant le couvercle (glace dépolie), on applique ce dernier contre deux petits rouleaux *h* mobiles sur un même axe et qui sont disposés de part et d'autre de la ligne joignant les points de support constitués par la roue dentée et la première des roues lisses ; celle-ci est placée dans un plan perpendiculaire aux autres.

De là résulte que, lorsque la roue dentée est immobilisée, la dent qui sert de support (et qui, sous l'effet de la pression, pénètre légèrement dans le papier) constitue un pivot autour duquel peut se déplacer le chariot.

Ce dernier est soumis à l'action d'un contrepoids K qui lui fait prendre une direction invariablement verticale et tend, concurremment avec le poids propre du chariot, à entrainer celui-ci dans cette direction ; le déplacement se produit quand le marteau vibrateur, en tressautant, dégage la roue d'échappement ; la roue d'échappement communique en effet avec la roue d'enregistrement par l'intermédiaire d'une vis sans fin, *f*.

En résumé, le chariot tend à tomber verticalement sous l'action de la pesanteur ; mais légèrement comprimé entre deux surfaces parallèles, il n'exécute son mouvement que par saccades, chaque saccade correspondant à un pas de l'opérateur et produisant sur la feuille un point indicateur.

Si la planche à dessin restait fixe, le trait ponctué qui est tracé sur la feuille serait rectiligne ; mais il n'en est pas ainsi ; l'enregistrement des directions exige que la feuille soit déplacée. Voici comment :

L'instrument est contenu dans une boîte que l'opérateur porte sur l'épaule au moyen d'une courroie, et verticalement ; il est pourvu d'une boussole et l'opérateur doit, en interrogeant celle-ci, maintenir l'aiguille en concordance avec la ligne de foi. L'aiguille est montée sur un support de laiton fixé sur une poulie placée dans un coin de l'appareil ; cette poulie, mobile autour d'un axe vertical, est reliée, par l'intermédiaire d'un cordonnet, à une autre de diamètre exactement égal, et qui est fixée sur l'axe de la planche à dessin. Cet axe est pourvu d'une tête de vis sur laquelle l'expérimentateur agit pour produire le déplacement angulaire simultané de la planche et du support de l'aiguille.

Supposons que l'opérateur, se dirigeant d'abord vers le nord, modifie sa direction pour aller vers la droite ; l'aiguille aimantée déviera d'un certain angle (égal au changement de direction) vers la gauche ; pour la faire coïncider avec le support de laiton, il agira sur le bouton de la planche, qu'il fera tourner vers la gauche, d'un angle égal au premier. Mais le chariot, qui continue sa chute verticale, produira sur la feuille une suite de points formant un trait qui fléchira vers la droite par rapport à la partie précédemment enregistrée

L'enregistrement des directions suivies n'est donc pas automatique, en ce sens, du moins, qu'il exige que l'opérateur surveille l'appareil et provoque lui-même les déplacements qui ont pour résultats le tracé de la courbe. Pour qu'il se fasse avec exactitude, il importe que l'attention soit fréquemment portée sur l'orientation de l'aiguille. Celle-ci est montée sur un double pivot et est pourvue d'un dispositif d'équilibrage consistant en une petite masse, formant contre-poids, déplaçable.

Indépendamment de ces conditions essentielles, il existe quelques précautions qui ne peuvent être négligées si l'on veut obtenir des résultats précis. Les principales sont que la position de la boite soit toujours identique, parallèle à la direction

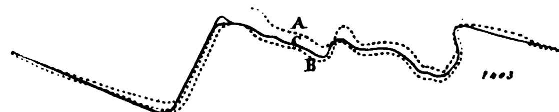


Fig. 2

suivie, la face supérieure bien horizontale (un niveau est prévu pour ce réglage), etc. Le rôle de l'uniformité du pas est marqué également ; les irrégularités peuvent affecter la forme de la courbe, si elles se produisent pendant le tracé du même diagramme ; elles ne se font toutefois surtout sentir que sur l'échelle, qui peut être modifiée dans une limite qu'on évalue en général à 3 °/₀ environ.

Malgré ces diverses causes possibles d'erreurs, qui, au premier abord, paraissent devoir être nuisibles à l'exactitude des lectures au point de les fausser absolument, l'expérience a montré que la sensibilité et l'exactitude de l'instrument suffisent pour un grand nombre d'opérations courantes quand, notamment, le terrain parcouru est suffisamment plat.

Un grand avantage réside dans le fait que l'emploi de l'instrument ne demande que peu ou point d'apprentissage et peut être confié à des employés quelconques.

Une méthode simple de s'assurer du degré d'exactitude de l'appareil et de sa sensibilité est d'enregistrer le même trajet au moyen de plusieurs instruments simultanément, ou bien encore d'effectuer le voyage aller et retour.

E.G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(7 Octobre)

Les canots automobiles à grande vitesse. — Société des Ingénieurs civils (Séance du 7 octobre).

M. A. Tellier dit que la navigation automobile est en ce moment à l'ordre du jour. Il était, du reste, à prévoir que la propulsion des bateaux profiterait des grands avantages que possède sur la vapeur le moteur à explosions, surtout depuis que celui-ci a atteint le degré de perfection actuel.

L'engouement s'en mêlant, il ne se passe guère de semaine, sans que les quotidiens n'annoncent la création d'une nouvelle épreuve. Il faut voir là une heureuse émulation pour une industrie naissante, qui ne peut manquer, sous de si favorables auspices, de suivre le développement de son aînée, la locomotion automobile.

Aux courses devenues annuelles de Monaco, Paris à la mer, etc., s'ajoutent maintenant celles du Havre à New-York, d'Alger à Toulon, du Tour de France, en attendant les autres ! C'est, diront les uns, aller peut-être un peu vite en besogne, mais enfin l'idée est lancée et elle suit son chemin.

Des fanatiques voient même déjà les machines à vapeur des torpilleurs remplacées par des moteurs à pétrole.

On n'en est pas encore là, malgré le progrès énorme réalisé depuis deux ans; et les plus gros moteurs à pétrole marchant industriellement dans des bateaux ne dépassent guère 150 ch.

M. Tellier a donc pensé qu'il serait peut-être intéressant de publier les résultats d'essais qu'il a effectués depuis trois ans avec différents bateaux rapides actionnés par des moteurs à pétrole à grande vitesse.

Ce sont : *Lutèce*, la *Rapée II*, la *Rapée III*, *Princesse-Élisabeth*, *Titan II* (ces deux derniers sont identiques), *Hotchkiss* et *Pertuisane*.

Ces résultats démontrent qu'il est possible de faire atteindre à de petits bateaux des vitesses qui auraient été reconnues impossibles à réaliser il y a seulement deux ans; ceci n'a été obtenu que grâce au faible poids spécifique du moteur à explosions.

Les vitesses obtenues actuellement ont conduit à une modification profonde dans le tracé des formes de ces bateaux, qui ne ressemblent en aucun point à celles des meilleurs bateaux extra-rapides à vapeur; ces formes permettent d'obtenir des utilisations excellentes et de les conserver même aux vitesses extrêmes.

Le nombre de tours élevé des moteurs à explosions a nécessité une étude minutieuse des hélices, et les travaux de MM. Normand et Drzewiecky sur les propulseurs hélicoïdaux ont été d'une grande utilité pour l'étude préliminaire de ces petites hélices à nombre de tours élevés.

La construction de ces coques a profité des études faites sur celle des racers à voiles employés il y a quelques années et appelés Bulb-Keel.

Ces bateaux, avec les vitesses énormes obtenues comparativement à leur taille, ne se comportent plus du tout comme des bateaux ordinaires; ils ne divisent plus l'eau, mais planent à la surface; ils s'acheminent en somme vers l'hydroplane, et ce sera peut-être là, soit dit en passant, le moyen pratique et sans danger de lancer un aéroplane.

L'homme marche ainsi à grands pas vers la conquête de la vitesse.

M. E. Duchesne demande si, dans les bateaux dont la forme nouvelle vient d'être décrite, c'est la maîtresse section ou la plus grande largeur qui est à l'arrière.

M. A. Tellier répond que c'est la plus grande

largeur. La maitrese section est aux trois quarts à l'arrière, et dans certains bateaux presque complètement à l'arrière.

C'est là une conception toute différente de ce qui se fait ordinairement et qui ne s'applique pas, tout au moins pour le moment, aux grands bateaux.

M. E. Duchesne pense, au contraire, que l'on arrivera à faire de grands navires avec des données analogues.

Pourquoi, en effet, ne pas mettre en largeur ce que l'on met en profondeur, d'autant plus que lorsque l'on aura des bateaux très larges on pourra, avec les cloisons longitudinales, assurer l'insubmersibilité des grands navires.

M. Daymard, répondant à M. Duchesne, dit qu'il n'est peut-être pas impossible en effet d'arriver pour les grands bateaux à quelque chose d'analogue à ce qu'on obtient sur les petits, mais à la condition d'y appliquer des forces proportionnelles. Pour cela, il faudra des machines extrêmement légères, permettant d'obtenir des puissances motrices dont on est encore loin actuellement.

M. E. Duchesne dit que la résistance due à B^2 et au frottement croît beaucoup plus vite que la profondeur des lignes d'eau. Dans le cas des glisseurs, l'augmentation de la force nécessaire ne croît plus comme le cube de l'augmentation de la vitesse. Il en résulte un très grand avantage en faveur des bateaux à faible tirant d'eau, larges par consésquent.

M. G. Hart dit qu'en effet on a procédé à des études sur ce sujet.

M. E. Duchesne pense qu'il y aurait grand intérêt à les poursuivre et à les compléter, étant donné surtout que les constructeurs suivent la voie nouvelle ouverte par les grandes courses de bateaux automobiles.

Il cite comme exemple les bateaux omnibus de Paris qui sont construits dans le même ordre d'idée; leur sillage est très beau et leur utilisation excellente.

EXPOSITION DE SAINT-LOUIS

L'électrotechnique à l'exposition de Saint Louis par **L. Schüler.** (Elektrotechnische Zeitschrift. t. XXV. n° 42. 20 Octobre 1904. p. 898.)

L'électrotechnique à l'exposition de Saint-Louis a été presque exclusivement représentée par les expositions des maisons américaines, et en première ligne par les deux grandes sociétés « General Electric Company » et « Westinghouse Company ». Les constructeurs européens n'ont pas exposé de machines électriques, sauf la Société alsacienne de constructions mécaniques, de Belfort, et la Société Gramme de Paris. La première a un alternateur de 700 kw en service, et quelques régulateurs d'induction pour courants polyphasés; la société Gramme expose une série de petits moteurs dont quelques-uns n'ont guère qu'un intérêt historique. Les maisons américaines de moindre importance ont presque toutes exposé; mais à part quelques exceptions, leurs machines sont peu intéressantes. D'une façon générale, on ne peut pas nier que la partie électrotechnique de l'exposition ne répond pas aux espérances de beaucoup de spécialistes; et, dans tous les cas, la « World Fair » de cette année, ne peut pas soutenir la comparaison, à ce point de vue, avec l'exposition de Paris de 1900; l'exposition de Dusseldorf de 1902 présentait même plus de constructions spéciales intéressantes.

Les deux sociétés mentionnées, General Electric Co et Westinghouse Co, sont les seules concessionnaires des brevets Tesla en Amérique, et par suite, les seules autorisées à établir des installations polyphasées aux Etats-Unis. Des dynamos à champ tournant sont bien exposées par d'autres maisons, comme Bullock Co, Stanley Co et National Electric Co; mais ces maisons ne peuvent toutefois vendre aucun moteur polyphasé aux Etats-Unis avant l'expiration des brevets Tesla.

Le courant de service pour la force et la lumière à l'Exposition est produit au bâtiment des machines, pour la plus grande partie par 4 générateurs à champ tournant de 2000 kw, dont deux fournis par la General Electric Co et les 2 autres par la Cie Westinghouse. Ces machines produisent des courants triphasés de 6600 volts, 25 périodes. Les dynamos de la General Electric Co ont des rainures d'induit ouvertes, les bobines enroulées et calibrées à l'avance étant placées directement dans les rainures. Les machines Wéstinghouse ont des rainures à moitié fermées; les bobines, également enroulées à l'avance, doivent être entaillées sur un côté et relevées pour leur introduction dans les rainures; puis les fils sont de nouveau recourbés, soudés et isolés. Les pôles du champ sont lamellés pour toutes les machi-

nes. Ces dynamos sont pourvues de volants particuliers, qui ne sont pas réunis mécaniquement avec les générateurs, mais montés séparément sur l'arbre.

Deux turbo-alternateurs concourent en outre à la production de l'énergie électrique à l'Exposition (dynamos polyphasées couplées directement aux turbines à vapeur) : une turbine Curtis pour 2000 kw 750 tours par minute et 25 périodes de la General Electric Co, et une turbine Parsons de 400 kw, 3600 tours, de la Cie Westinghouse.

Il est naturellement difficile de reconnaître les particularités de construction des machines en service ; pourtant, la » Westinghouse Co » a exposé un deuxième exemplaire de ses turbo-alternateurs, dont le système magnétique tournant est retiré de la carcasse fixe (fig. 1). La dynamo est construite pour courants diphasés de 400 volts, 60 périodes. L'armature fixe a 36 rainures demi-fermées, avec une barre massive d'environ 20×25^{mm} par rainure ; toutes les barres d'une même phase sont montées en série. L'âme a environ 550^{mm}, le diamètre extérieur 1100^{mm} ; on a pratiqué 11 canaux de ventilation. L'entrefer est d'environ 25^{mm}. La partie magnétique tournante est retirée d'un solide bloc d'acier et a une vitesse périphérique de 95^{m} par seconde.

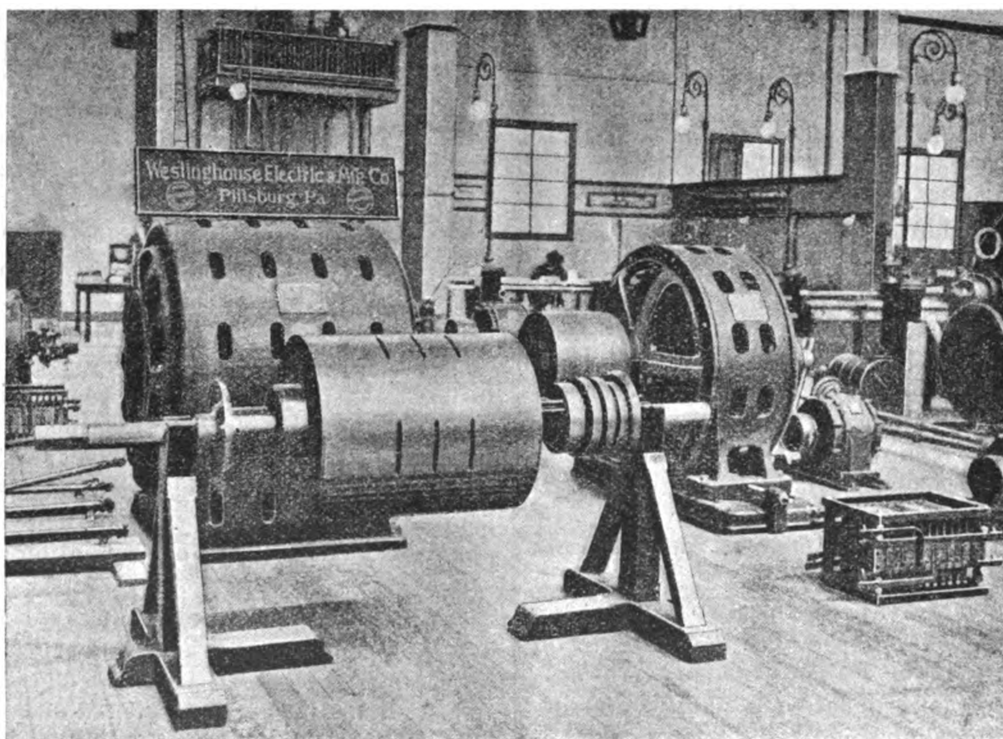


Fig. 1

L'enroulement magnétisant se compose d'un ruban de cuivre mince, — avec couches interposées de matière isolante — placé dans 16 rainures larges d'environ 20^{mm}, et profondes de 70^{mm}. 3 canaux de ventilation sont pratiqués dans la masse et aspirent l'air par des trous aboutissant près de l'arbre. La ventilation est par le fait excellente ; malgré cela, la machine est très chaude. Une vérification approchée donne environ 93 % comme rendement ; la fraction d' énergie absorbée par le cuivre du champ est considérable.

La plus grande machine de l'Exposition, aussi bien pour la puissance que pour les dimensions, est une machine à flux tournant de la Bullock Co, pour 3500 kw et 85 tours par minute. Elle donne des courants triphasés de 6600 volts, 25 périodes ; son mode de construction ne la distingue pas essentiellement des machines modernes européennes. Une machine à courants con-

tinus, de 250 kw, exposée par la même maison, possède une disposition assez compliquée par laquelle tous les balais ont un mouvement lent de va-et-vient dans le sens de l'axe, afin d'obtenir une usure bien uniforme et bien régulière du collecteur. On paraît, en Amérique, faire beaucoup de cas de cette usure régulière du collecteur, car tous les transformateurs exposés de courants triphasés en courants continus sont pourvus de dispositifs qui permettent un jeu latéral de l'armature.

La Stanley Co expose un certain nombre de générateurs polyphasés dont le système inducteur appartient à un type déjà démodé en Europe. Le circuit magnétique de l'armature est formé exclusivement par du fer forgé. Ces machines polyphasées possèdent un dispositif permettant de régler la tension des phases séparées, indépendamment l'une de l'autre. Au moyen d'un commutateur particulier auquel aboutissent des dérivations venant des dernières bobines de l'armature, on peut connecter ou déconnecter à volonté un certain nombre de spires à chaque phase. La figure 2 représente une machine de cette maison.

Au Palais de l'Electricité sont exposés de plus petites machines et un grand nombre de moteurs et appareils divers. La Cie Westinghouse montre un choix très riche de ses produits normaux; les moteurs de tramway et les moteurs à flux tournant sont représentés en grand nombre. Pour le démarrage de ces moteurs polyphasés est souvent utilisé un transformateur de réglage, nommé compensateur. Mais le démarrage avec des résistances dans l'induit paraît également conquérir droit de cité; tout au moins la Westinghouse Co expose ainsi une série de moteurs à bagues collectrices. Les bagues sont en cuivre et très grandes; la prise de courant se fait par des balais en charbon, épais, qui couvrent un arc d'environ 5 cm de long. Certains moteurs également ne possèdent pas de bagues collectrices, mais des résistances logées dans l'induit et tournant en même temps que lui; ces résistances sont court-circuitées par des dispositifs spéciaux lorsque la vitesse est suffisante.

Tous les moteurs à flux tournant sont essentiellement plus grands que les moteurs européens de même puissance; ce fait tient en partie à l'emploi des rainures d'armature ouvertes, mais peut s'expliquer également par l'absence de concurrence sur ce terrain particulier.

La Westinghouse Co a également fourni les 3 moteurs à flux tournant de 2000 chevaux qui, accouplés avec des pompes centrifuges sont employés au service de la grande cascade. Ces moteurs fonctionnent sous 6600 volts, 25 périodes et donnent 485 tours par minute. Ce sont, paraît-il, les plus grands moteurs à flux tournant du monde entier. Ils ont une armature à bagues collectrices, avec des balais en charbon, épais et nombreux. Les bagues collectrices sont à l'intérieur du corps de l'induit; le moteur est

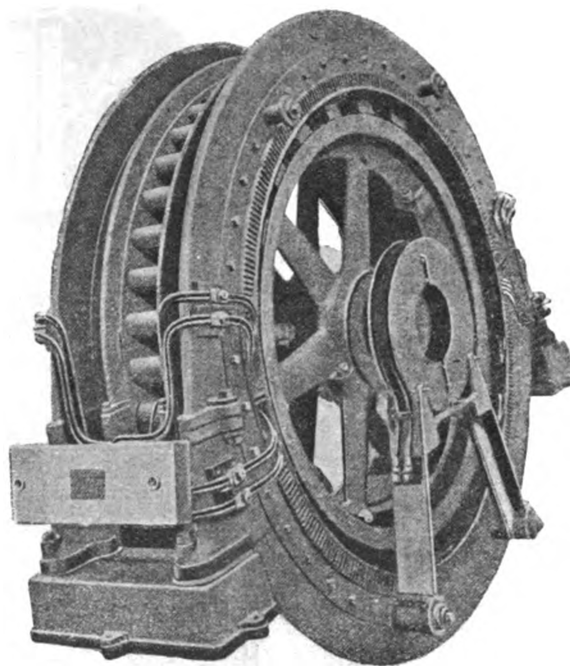


Fig. 2

ainsi plus ramassé, mais les bagues sont difficilement accessibles.

Les transformateurs exposés par la Westinghouse Co appartiennent aux types courants et sont généralement isolés à l'huile. Seuls, de grands transformateurs pour sous-stations sont pourvus également en partie de refroidissement artificiel à air, pour des tensions au-dessus de 10 à 15000 volts; on préfère pourtant l'isolement à huile avec circulation d'eau artificielle. Un tel transformateur pour 2000 kw et 30000 volts est représenté par les fig. 3 et 4. Une disposition spéciale — dérivations supplémentaires, — permet de changer le rapport de transformation dans de faibles limites (5 à 10 %).

La maison utilise cette disposition pour tous les transformateurs de cette espèce, de façon à

pouvoir plus tard arrêter exactement la tension de service secondaire, si la chute de tension en ligne ne concordait pas exactement avec celle prévue par le calcul, ou si la charge de la ligne venait à augmenter sensiblement.

La General Electric Co expose également un grand nombre de dynamos, moteurs et transformateurs, et en particulier son nouveau moteur monophasé avec condensateur. La figure 5 montre l'extérieur du moteur. Le condensateur est logé dans le socle et, est formé, paraît-il de feuilles d'étain et de papier paraffiné ; ses dimensions pour un moteur de 7 chevaux 1/2 sont d'environ 400 × 400 × 250mm. Le condensateur est

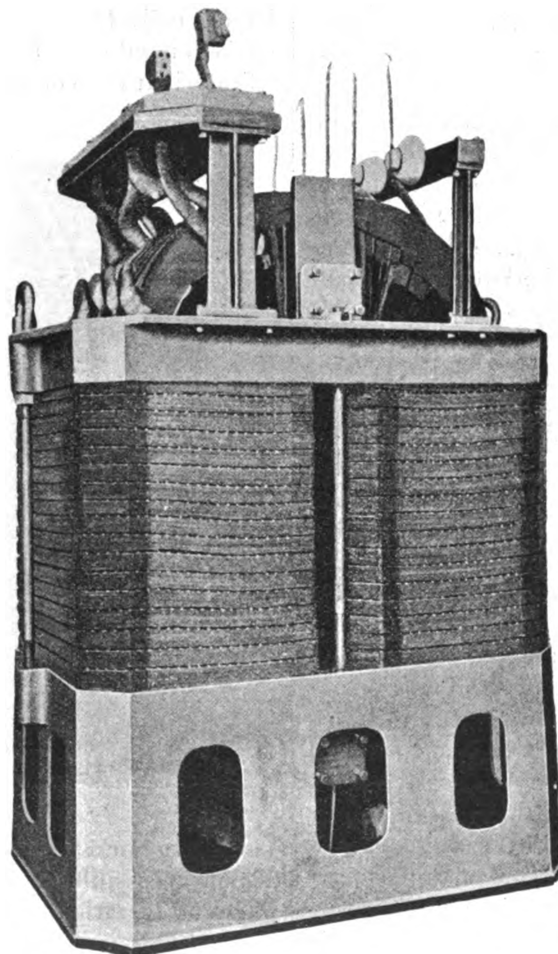


Fig. 3

alimenté par un enroulement particulier qui, indépendamment de la tension de service du moteur, produit une tension d'environ 550 V. Le condensateur a pour double but de produire le décalage nécessaire au démarrage et de compenser en service le courant déwatté. Le rotor est monté à la manière d'une armature polyphasée et fermé sur des résistances mobiles en même temps que lui ; ces résistances sont mises en court-circuit par un appareil centrifuge environ pour la demi-vitesse. Le moment du démarrage est faible, seulement 30 % ou moment de rotation normal ; le courant de démarrage atteint le double du courant normal de service. Les moteurs sont pourvus d'une poulie folle qui est couplée avec l'arbre par un appareil centrifuge quand le moteur atteint sa pleine vitesse. La compensation de phase obtenue avec le condensateur est très bonne, comme le montre la courbe du facteur de puissance (fig. 6).

La General Electric Co construit des transformateurs pour faibles puissances et tensions modérées sur le type dit « à noyau ». Les bobines, primaire et secondaire, sont réunies mécani-

quement ; la bobine à basse tension est enroulée tout d'abord et par dessus est placée directement la bobine à haute tension, avec interposition de l'isolant nécessaire. Le tout est

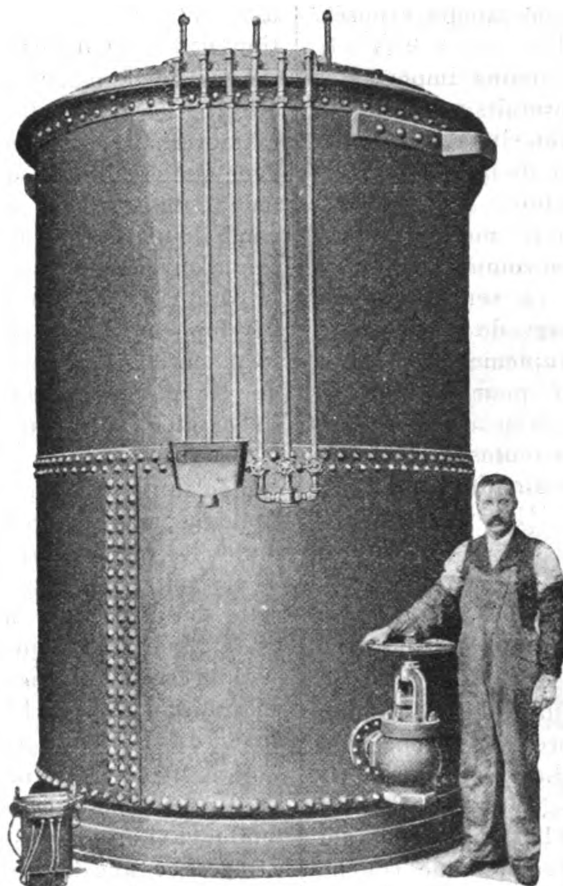


Fig. 4

ensuite imprégné d'une matière isolante particu-

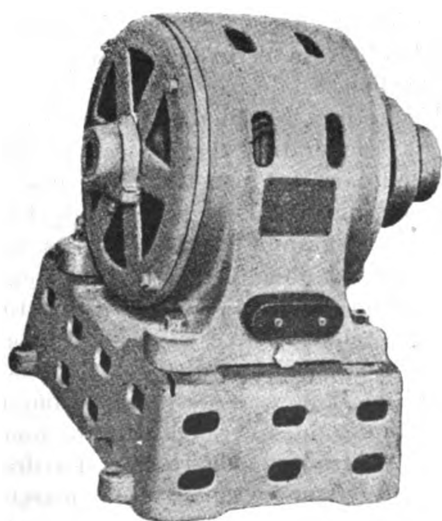


Fig. 5

lière qui donne à la bobine une rigidité mécanique considérable et la protège contre l'humidité. La même maison construit également des transformateurs en anneau ou blindés.

La Bullock Co expose au Palais de l'Electri-

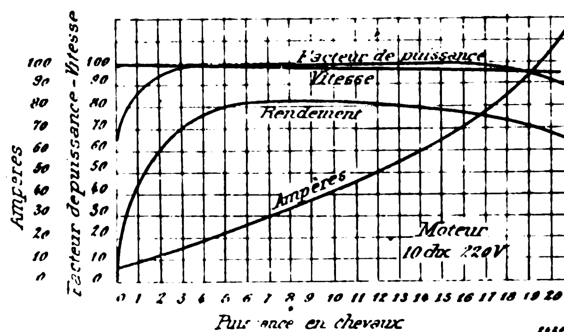


Fig. 6

cité une table de mesure très clairement disposée avec tous les instruments nécessaires à l'établissement des courbes de tension et de cou-

rant de court-circuit des générateurs polyphasés. Ce dispositif expérimental sert à déterminer la chute de tension des générateurs exposés, d'après la méthode Behrend.

Les maisons américaines moins importantes se bornent à exposer leurs produits normaux qui ne présentent aucune particularité remarquable de construction. L'exposition de la Wagner Co forme cependant une exception ; cette maison construit comme spécialité le moteur monophasé de Arnold qui démarre comme moteur à répulsion et se comporte en service comme moteur d'induction. Le passage de la répulsion à l'induction se fait automatiquement au moyen d'un appareil centrifuge qui, pour un nombre de tours déterminé (environ 5 % au-dessus du synchronisme) court-circuite toutes les lamelles du commutateur et relève simultanément les balais.

J. K.

***La pile à charbon*. — Par F. Habér et L. Bruner. — (Mémoire présenté au Congrès électrique international de Saint-Louis).**

Les auteurs se proposent d'expliquer l'action de la pile de Jaques, comprenant du charbon, de l'hydrate de sodium fondu, et du fer. Cette cellule agirait comme pile à gaz oxygène-hydrogène. L'électrode de fer dans l'hydrate de sodium fondu se recouvre graduellement d'une couche protectrice d'oxyde, après quoi le fer cesse d'être attaqué, alors qu'auparavant il se dissolvait dans le sel fondu à l'état d'oxyde ferrique donnant lieu au développement de gaz hydrogène. La couche protectrice en question se produit rapidement si le fer, après avoir été plongé pendant quelque temps dans du nitre fondu, est soigneusement nettoyé de tout nitre par un lavage à l'eau. Il est alors devenu passif, et l'hydrate de sodium fondu ne l'altère plus.

Ce fer représente une électrode d'oxygène sur laquelle l'oxygène atmosphérique agit d'une façon analogue, mais plus efficace que sur une électrode de platine platinée plongée dans une solution conductrice aqueuse. Cette action de l'oxygène est due à la présence du manganate de sodium. Le fer passif, comme électrode inattaquable, peut être remplacé par toute autre électrode inerte, et notamment par le platine. Dans ce dernier cas, le potentiel de l'électrode est incertain si le platine est placé dans de l'hydrate de sodium pur; mais une très petite quantité de manganate suffit à lui donner une valeur différente, invariable celle-là, jusqu'à une addition de 2 % de manganate.

Lorsque le manganate de sodium ajouté est réduit, le potentiel éprouve une modification extraordinaire, mais en faisant entrer de l'oxygène atmosphérique, on rétablit sa valeur originale. Dans cette expérience, le potentiel de l'électrode de platine est dû, on le voit, à l'absorption d'oxygène. En ajoutant du permanganate à l'hydrate de sodium fondu, on donne lieu à un développement d'oxygène déterminant désormais le potentiel. Une série d'expériences fait voir que les potentiels sont absolument identiques à ceux qu'on obtiendrait avec une électrode de fer passif.

Si d'autre part on expérimente, d'une façon analogue, une électrode en charbon, on réalise toutes les valeurs, intermédiaires entre — 06 et — 1,5 volts; on s'approche de plus en plus de cette dernière limite à mesure que le charbon est attaqué plus rapidement par l'hydrate de sodium fondu. Le gaz dégagé par l'électrode de charbon au sein de l'hydrate de sodium fondu chaud est de l'hydrogène.

Si au lieu de l'électrode de charbon, on plonge un tube en platine dans l'hydrate de sodium fondu, et si on fait passer du gaz hydrogène pur à travers ce tube dans le liquide, l'on obtient avec un courant de gaz intense le potentiel de — 1,5 volt à toutes températures intermédiaires entre 500° et le point de solidification du sel fondu. Le potentiel du charbon au sein de l'hydrate de sodium fondu, loin d'être déterminé directement par le charbon, est dû par conséquent à l'hydrogène dégagé par l'action du charbon sur le sel fondu. La température n'exerce aucun effet sur le potentiel dans des limites très étendues, tandis que la rapidité du dégagement de l'hydrogène est d'une grande importance. Les auteurs font voir que les phénomènes thermoélectriques sont absolument étrangers à la production de ces actions électromotrices, qui ne dépendent que des gaz oxygène-hydrogène.

La pile de Jaques ne possède aucune importance pratique, puisque, pendant son fonctionnement, l'électrode de charbon et l'hydrate de sodium, qui ont une grande valeur marchande, se transforment en soude bon marché, quitte à développer un peu d'hydrogène qui produit une

action électromotrice. Au point de vue théorique, cette cellule hydrogène-oxygène présente cependant une haute importance. Elle se distingue de la pile bien connue à hydrogène-oxygène de M. Grove, en ce qu'elle produit non pas de l'eau liquide, mais une solution d'eau dans de l'hydrate de sodium fondu.

A. Gr.

La production électrique des corps azotés aux frais de l'azote atmosphérique — Par **F.S. Elstrom.** — (Mémoire présenté au Congrès Electrique International de St. Louis).

La demande de nitre du Chili va en augmentant, la consommation devenant chaque année plus grande malgré les prix qui augmentent rapidement. Or, les mines du Chili sont loin d'être inépuisables ; d'après M. Elstrom elles s'épuiseraient vers l'année 1940. Aussi a-t-on tâché de produire les composés d'azote par voie artificielle et c'est surtout à l'azote atmosphérique qu'on s'est adressé.

Dans le procédé du Dr Frank, exploité par la compagnie Siemens & Halske à Berlin, on amène l'azote en présence d'un mélange chauffé de chaux et de charbon dans les mêmes proportions que pour la production du carbure de calcium ; cette réaction donne du cyanamide de calcium ($Ca\,C\,Az^2$) donnant de bons résultats comme fumier artificiel. Cette méthode en est cependant encore à un état purement expérimental.

La plupart des expériences tentées dans cette voie partent de quelque composé d'oxygène. Après avoir passé en revue les travaux de Priestley et Cavendish, Bradley et Lovejoy, de Kowalski et Moscicki, M. Elstrom décrit en détail les procédés de G. Birkeland et de S. Eyde de Christiania. Ces derniers expérimentateurs se sont basés sur ce fait que le courant électrique dans l'arc voltaïque, et par là l'arc lui-même, peuvent être déviés perpendiculairement aux lignes de force sous l'action d'un champ magnétique.

Si les électrodes horizontales sont reliées à une génératrice placée en série avec une bobine inductive appropriée, et qu'on applique un champ magnétique intense à proximité des électrodes en direction horizontale et perpendiculairement à la direction des électrodes, l'arc jaillissant entre les électrodes sera instantanément entraîné vers le haut ou vers le bas, se brisant ensuite, en même temps qu'un nouvel arc rectiligne se forme entre les électrodes, pour être entraîné à son tour en dehors, et ainsi de suite. Les vitesses de formation, de déplacement et de rupture des arcs sont si considérables que ceux-ci peuvent se former plusieurs milliers de fois par seconde. On se contente cependant dans la pratique de quelques centaines d'arcs.

Si le champ magnétique est excité par un courant continu, et que la génératrice alimente l'arc par du courant continu, il se forme une série continue d'arcs voltaïques qui se déplacent radialement avec une vitesse correspondant à l'intensité du champ magnétique. Les points de rencontre de l'arc avec la surface de l'électrode se déplacent également, à partir des pointes, à la même vitesse. L'œil reçoit l'impression d'un disque d'arcs voltaïques, de la forme d'un demi-cercle presque complet (fig. 1). Le mouvement de l'arc à proximité des électrodes est généralement plus rapide sur l'électrode négative que sur la positive ; le centre du disque circulaire se déplace par conséquent d'un côté de la droite reliant les électrodes. Si le champ magnétique est excité par des courants alternatifs, alors que l'arc voltaïque est à courant continu, les arcs exécutent des vibrations de part et d'autre des électrodes. Ceci est également vrai si l'arc est alimenté par des courants alternatifs, le champ magnétique étant excité par du courant continu. C'est à cette dernière disposition que les inventeurs se sont arrêtés.

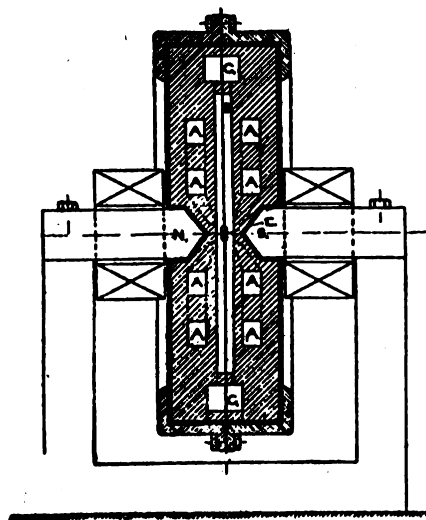


Fig. 1

La figure 2 représente le four électrique dans une section verticale perpendiculaire aux électrodes. L'air devant traverser le four est forcé à

travers les canaux A et de là dans les compartiments à arcs du four B, au voisinage des électrodes E. Après avoir traversé cet espace depuis le centre, tout en arrivant le plus possible du contact du disque d'arcs, l'air passe dans le canal C et en quittant le four est chargé d'une certaine portion d'azote oxydé.

Alors que, dans les méthodes de Bradley et Lovejoy et de de Kowalski, l'énergie dépensée dans les arcs doit être réduite à un minimum,

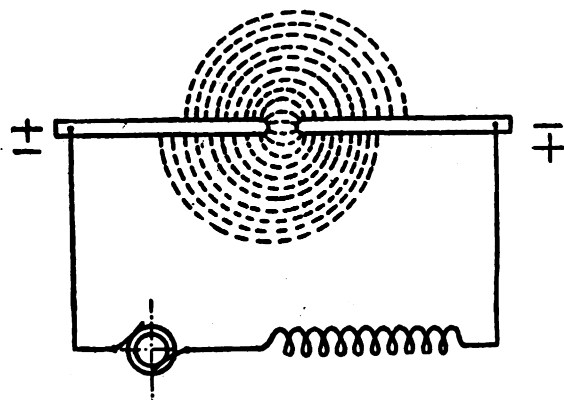


Fig. 2

afin de réaliser un système économique, la méthode de Birkeland se prête parfaitement à l'emploi de grandes quantités d'énergie dans l'arc-disque. Les expériences ont fait voir, d'autre part, que le rendement utile augmente avec la quantité d'énergie consommée sur les électrodes. On vient de construire un four à arc-disque de 500 kw.

Malgré les grandes intensités de courant, les électrodes du four de Birkeland ont jusqu'ici été employées sans interruption pendant plusieurs centaines d'heures. L'influence destructive de l'arc est peu considérable, puisque ses points de rencontre se promènent le long des électrodes, qui, par conséquent, peuvent être faites d'une matière très bon marché, telle que le cuivre ou le fer, et être de dimensions facilitant le refroidissement par l'air ou par l'eau. Dans le dernier type de four construit, les inventeurs ont réalisé un rendement de 900 kgs. de A 30^3 par kw. et par an; l'énergie en question est celle consommée dans l'arc-disque lui-même. L'air venant du four renferme à peu près 2 à 3 % d'oxyde nitrique (AzO) qui, pour être utilisé, doit être converti en peroxyde d'azote (Az^2 O^2). C'est ce qui se fait dans une auge à réaction en tôle mince, émaillée à l'intérieur, et d'où les gaz passent à travers un épuiseur où ils arrivent au contact de gouttes d'acide nitrique dilué. De là, les gaz se rendent dans le système à absorption comprenant 4 tours à eau et une tour à solution de soude caustique. Chaque tour est traversée plusieurs fois de suite. Ce procédé est analogue à celui des contre-courants; la tour à soude caustique absorbe le reste des gaz tout en formant un mélange de nitrate et de nitrite de soude, mélange qui sert à la fabrication du nitrite de soude pur.

A. Gr.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant: A. BONNET.

Tome XLI. Samedi 10 Décembre 1904. 11e Année. — N° 50

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES VOITURES ÉLECTRIQUES INDUSTRIELLES

La voiture électrique semble, jusqu'à présent, rester dans le domaine de la voiture de haut luxe. Là, d'ailleurs, elle bat en brèche, grâce à son silence, à sa douceur et à sa sûreté de conduite son ennemi le pétrole.

Mais ce débouché de locomotion automobile électrique n'est pas le seul possible. La sûreté de fonctionnement, la facilité d'entretien et de surveillance du mécanisme font que la voiture électrique est appelée à un avenir industriel certain comme voiture de livraison et voiture industrielle.

Sur ce dernier point, l'application d'un tarif spécial au taximètre pour les fiacres automobiles va remettre la question en jeu, car ce tarif est certainement rémunérateur.

Nous allons chercher dans quel sens, avec les conditions actuelles, il faudrait travailler à notre avis pour réaliser ce véhicule industriel.

Le tout est de diminuer les frais d'entretien, tout en rendant l'exploitation la plus sûre possible.

Nous allons montrer que tout tient à l'allègement de la voiture et à l'adoption d'une transmission à haut rendement; et nous indiquerons la chaîne comme meilleure solution.

Les dépenses de la voiture électrique se portent sur 3 points, à savoir: les pneumatiques, les accumulateurs, le mécanisme.

Pour les pneumatiques ou, pour mieux parler, pour les bandages, nous citerons simplement le résultat de nos études personnelles qui ont donné les valeurs suivantes pour les coefficients de traction en kilogrammes par tonne.

**

Caoutchoucs pleins, 15 à 18 kilogs,

Pneumatiques de 90^{mm}, 20 à 24 kilogs ;

Pneumatiques de 90^{mm}, mal gonflés 24 à 28 kilogs ;

Pneumatiques de 120^{mm}, 29 à 32 kilogs ;

Une paire d'antidérapants formés d'une bande de cuir portant des clous rivés : supplément de 4 kilogs.

Ces chiffres ont été pris à 18 kilomètres à l'heure sur bon macadam sec et sans poussière.

D'autre part, le poids du véhicule en charge donne la taille des pneumatiques à employer, et si l'on veut n'avoir qu'une faible usure de pneumatiques il faut les mettre plus forts que ne l'indiquent même les fabricants. Plus le pneumatique est de forte taille, plus son entretien journalier est faible et cela malgré que le prix d'achat soit notablement plus élevé.

Cette règle, enseignée par la pratique de la voiture électrique, peut se justifier par ce fait que dès qu'un pneumatique est trop faible, il éclate toujours avant que la bande externe de caoutchouc, appelée croissant, soit usée et que les toiles apparaissent, tandis que sur les pneumatiques forts, on parvient à les user jusqu'aux toiles sans que le talon soit fatigué.

Donc pour réaliser une économie sur les bandages pneumatiques, il faut prendre un profil assez petit pour ne pas donner trop de résistance à la traction et avoir une voiture assez légère pour mettre le pneumatique dans les meilleures conditions d'utilisation.

Pour les bandages pleins, on peut, sans exagérer, dire, surtout en prenant des bandes de force largement calculée, que leur prix d'entretien est le quart de celui des pneumatiques pour le même véhicule ; comme d'autre part ils donnent un coefficient de traction moins élevé que les pneumatiques ; il y a tout avantage.

Nous allons insister sur ce dernier point parce qu'il y a lieu de réfuter une opinion trop répandue.

On objecte que si les chiffres donnés plus haut pour les coefficients de traction sont exacts sur macadam, lorsqu'on roule sur le pavé, les chiffres changent complètement et le coefficient de traction sur plein devient plus grand que celui sur pneumatique. Ceci est exact pour bon nombre de modèles actuels, parce que l'ensemble formé par l'essieu, les roues et les couronnes d'engrenages est très lourd, et qu'alors, sur mauvais terrain, cet ensemble est projeté en l'air à chaque obstacle de la route, absorbant ainsi en pure perte une bonne partie de l'énergie dépensée. On comprend dès lors que cette perte particulière soit moins forte sur les pneumatiques qui boivent l'obstacle que sur les pleins qui n'ont pas la même souplesse.

C'est ce que les auteurs ont distingué, en partageant en deux le poids du véhicule et en affectant d'un coefficient de traction spécial les parties suspendues de la voiture (c'est-à-dire au-dessus des ressorts) et les parties non suspendues (au-dessous des ressorts).

Mais, si l'on parvient à alléger considérablement le poids de la partie non suspendue, l'avantage des pneumatiques sur le pavé va beaucoup diminuer, au point que finalement, quel que soit le terrain, jamais le coefficient de traction sur plein n'atteindra celui sur pneumatiques.

Cet allègement du train de la voiture et de ce qui s'y rattache peut s'obtenir de la façon suivante :

1° Mettre des roues très petites, qui pèsent peu.

2° Ne pas mettre le moteur sur l'essieu ; la transmission par couronnes est donc à rejeter.

La transmission par chaîne avec moteur attaché rigidement au châssis est la meilleure. Celle à cardan et essieu différentiel donne un essieu plus lourd.

3° Mettre des essieux droits, qui, pour la même dimension, sont plus solides que les essieux cintrés ou coudés. Et enfin pour ces derniers, l'allègement par l'emploi d'acier nickel est également possible.

Notons en passant que les bandages pleins n'ont pas que des avantages à leur actif.

Ils donnent, malheureusement, à toutes les parties non suspendues, une trépidation, ou vibration, qui desserre les boulons et qui fait cristalliser les métaux fondus, acier, bronze, et surtout l'aluminium. Ceci empêche absolument l'emploi de ces bandages pour toutes les voitures ayant le moteur électrique attaché à l'essieu, ou ayant un faux châssis reliant les deux essieux. L'emploi du moteur à chaîne s'impose encore dans ce cas, puisqu'il permet de faire profiter le moteur de la suspension de la voiture.

L'importance des bandages sur le prix de revient journalier de la voiture étant établi, passons à un autre entretien qui n'est pas le moindre : celui de l'accumulateur.

Les frais d'entretien d'une batterie étant proportionnels à sa capacité. on est conduit à mettre de petites batteries, quitte à les changer une fois dans la journée, tant pour avoir besoin d'une capacité totale plus faible par allègement de la voiture que pour faire profiter les bandages de l'allègement.

En effet, dans les meilleurs modèles actuels de luxe, faits pour couvrir 50 à 60 kilomètres sans recharge, on peut détailler ainsi les poids du véhicule avec sa charge.

Voyageurs	14 °/₀
Accumulateurs	32 °/₀
Moteur et transmission	12 °/₀
Train	12 °/₀
Carrosserie	30 °/₀
	100

Si donc on allège la batterie, on pourra alléger aussi le train qui représente un poids important dans l'ensemble.

Notons en passant qu'il y a beaucoup à faire sur la carrosserie. La carrosserie de coupé donne à ce point de vue un gain de poids de près de 100 kilos par rapport aux landaus, à cause des ferrures que ce dernier exige.

Mais, à cet allègement de la voiture par diminution de la batterie, il y a une limite. C'est qu'en effet, une longue pratique des accumulateurs a montré qu'il fallait pour obtenir de bons résultats de ces appareils, et les faire durer jusqu'à 180 décharges sur les mêmes positives et 360 sur les négatives, observer les régimes de décharge suivants : la batterie ne doit être déchargée qu'au régime moyen en 3 heures ; et de plus, le régime forcé ne doit pas dépasser les 66 °/₀ de la capacité en 5 heures.

Cette dernière condition doit être remplie par le moteur, lequel doit ralentir suffisamment, sans changement de couplage, pour que la consommation dans la rampe, considérée comme rampe maximum, ne dépasse pas cette valeur. Il nous semble que la pente de 7 à 8 centimètres par mètre est celle à choisir. Prendre des rampes plus fortes imposerait une vitesse en palier par trop réduite.

Nous avons dit sans changement de couplage, car sans doute il serait facile de monter les rampes sans dépasser le débit maximum de la batterie sur les induits en tension ; mais, outre que le rendement serait très mauvais et l'échauffement du moteur trop grand, le conducteur pourrait par négligence se servir de cette vitesse en côte et fatiguer sa batterie.

Cette fatigue des batteries est très réelle. Nous avons eu l'occasion de le vérifier d'une façon curieuse et frappante. Une voiture étrangère avait une consommation telle qu'elle déchargeait sa batterie en une heure et demie et atteignait comme consommation maxima la valeur de la capacité en 5 heures. Au bout de 90 décharges exactement la batterie ne pouvait plus fournir aucun service. Elle était complètement sulfatée : il fut d'ailleurs impossible de la faire revenir et de la faire resservir sur cette voiture. Mise alors sur une voiture à chaîne de consommation exceptionnellement bonne, la batterie a tout de suite fourni un bon service et est actuellement à sa 70e décharge sur cette voiture ; elle roule encore.

Cela tient à ce que la surface extérieure des plaques n'est pas assez grande pour supporter ces régimes, et la sulfatation de cette surface extérieure arrête la décharge de la matière sous jacente, en même temps qu'elle peut amener une détérioration des plaques par foisonnement. Les constructeurs d'accumulateurs ne peuvent d'ailleurs pas augmenter cette surface, car cela les conduirait à faire des plaques si minces qu'elles ne résisteraient pas aux trépidations.

L'accumulateur Edison peut supporter des décharges beaucoup plus rapides que l'accumulateur au plomb. Mais ce résultat n'est obtenu qu'en multipliant considérablement le nombre des plaques et en les amincissant d'une façon telle qu'il y a lieu de craindre pour leur solidité.

L'autre condition de décharge imposée, à savoir que la batterie doit se décharger en 3 heures, nous conduit, pour des véhicules faisant de 16 à 18 kilomètres à l'heure en moyenne, à un parcours total de 48 à 54 kilomètres. Ceci correspond bien aux 50 à 55 kilomètres que font actuellement les voitures sans recharge.

Le parcours se trouve donc fixé à l'avance. Si alors nous voulons avoir une petite batterie, il ne nous reste plus qu'un procédé, c'est d'avoir un moteur électrique et un mode de transmission du mouvement du moteur aux roues présentant le maximum de rendement. Il ne faudra pas cependant que la solution adoptée conduise à un moteur lourd, ni à une transmission d'un entretien coûteux.

Le moteur à chaîne, avec un relais d'engrenage démultiplicateur sur le moteur, résoud entièrement le problème.

Parlons d'abord du rendement. Il est inutile d'insister sur son importance ; car si l'on gagne dix pour cent sur le rendement, avec la même batterie on fera dix pour cent en plus de chemin ; ou pour parcourir le même chemin, on n'aura besoin que d'une batterie 10 % moins forte.

Voici les rendements que nous admettons, après vérification, dans leur condition d'utilisation pour les modes de transmission de force qui nous intéressent :

	neufs	usagés.
Engrenages droits, acier sur acier exposés à la poussière de la route, graissés	90	80
Engrenages droits, pignon acier sur couronne en fibre	88	80
Engrenages droits, pignon de cuir sur couronne en fonte	88	80
Engrenages droits acier sur acier barbottant dans l'huile	92	90
Engrenages droits acier sur acier graissés à la graisse	plus mauvais	
Engrenages coniques acier sur acier barbottant dans l'huile	88	82
Rendement d'un double joint à la cardan	95	
Chaîne à rouleaux bien graissée au suif et exposée à l'air	94	92
Moteur tournant à 1200 ou 1300 tours	85	
Moteur lent 800 tours de poids raisonnable	78	

Ceci posé, il n'y a d'hésitation qu'entre trois systèmes de transmission.

1° Le moteur à chaîne avec réduction par engrenage barbottant dans l'huile qui donne un rendement de 76,5°/₀ à 73,5°/₀. Le poids du moteur et de sa transmission est de 187 kilos.

2° Deux moteurs attaquant directement les roues par une couronne d'engrenage rendement 68 à 75°/₀. Poids 222 kilos.

3° Un moteur lent attaquant par l'intermédiaire d'un double cardan l'essieu différentiel moteur, lequel donne une démultiplication de 6.

Rendement 61 à 65°/₀. Poids 180 kilos.

Les poids donnés ci-dessus sont pour une voiture légère à deux places.

Donc la transmission par chaîne ressort avec tous les avantages.

Nous y ajouterons encore la facilité de démontage des éléments mécaniques due à la séparation nette du moteur de l'essieu, et des freins. La facilité de remplacement des chaînes en cas d'usure et de brisures. Dans ce dernier cas, la réparation comporte le remplacement d'un maillon tandis que pour la couronne dentée une dent cassée la met hors d'usage. Enfin une paire de chaînes coûte 70 francs environ et dure deux fois plus qu'une paire de couronnes coûtant 200 francs.

L'essieu différentiel a contre lui: 1° la difficulté de visite de ses organes, 2° la difficulté de l'établir assez solide pour les charges qu'il supporte dans les voitures électriques, 3° l'impossibilité où il est de pouvoir tourner lorsqu'il a été faussé par un choc, 4° l'emploi d'un seul moteur au lieu de deux ne permettant pas en cas d'avarie de l'un deux de continuer la route avec l'autre.

Il est certain également que la voiture ainsi conçue légère et avec un moteur à haut rendement consommera le moins de courant possible.

Nous avons fait également ressortir suffisamment les avantages mécaniques de la transmission à chaîne sur les autres modes de transmission.

Du reste la vérification pratique de ces idées et conceptions théoriques va se trouver être faite par les voitures postales qui sont conçues suivant ces données. Les chiffres pris sur les voitures neuves ont été en tous points conformes à ceux énoncés. Il reste à savoir s'il en sera de même lorsque les voitures seront fortement usagées, ce qui ne sera pas long à attendre puisqu'elles font 75 kilomètres par jour sans connaître de jour de repos, soit 27.000 kilomètres par an.

Les prix d'entretien ressortiront également en toute certitude.

R. Lacau.

Ancien élève de l'école Polytechnique.

LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE DE FORCE ET D'ÉCLAIRAGE DE RIVA

Les centrales hydro-électriques sont une source inépuisable de bénéfices pour les pays qui ont la chance d'être abondamment pourvus de forces hydrauliques. Aussi les voit-on se multiplier un peu partout. On vient d'installer dans le Tyrol une nouvelle centrale de ce genre pour fournir le courant à la ville de Riva, petite localité sur le bord du lac de Garde, à 62 mètres au-dessus du niveau de la mer et qui compte, avec Varone et San-Giacomo,

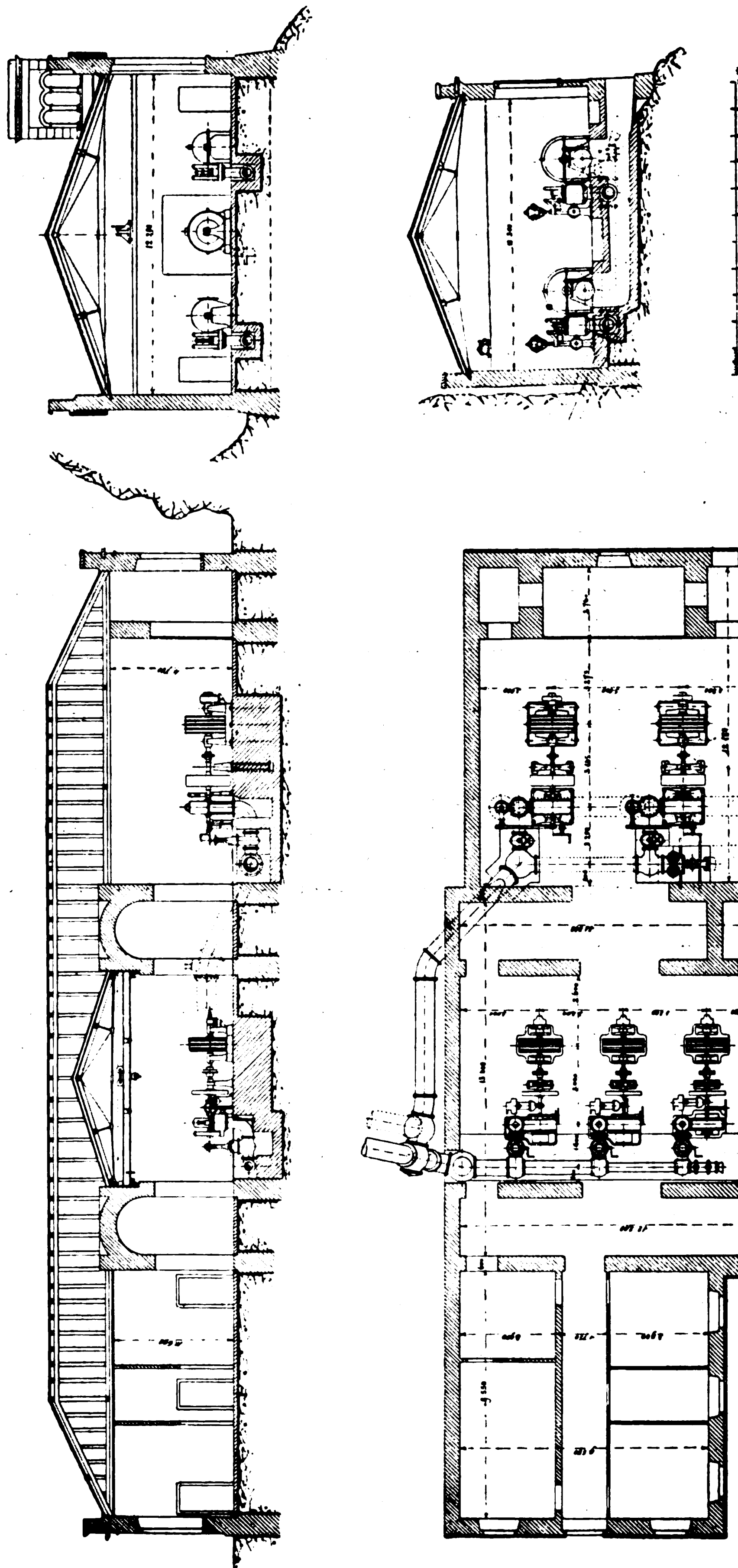


Fig. 1

7.700 habitants environ. Cette nouvelle centrale est des plus intéressantes. Trois forces hydrauliques ont été successivement examinées pour l'établissement de l'usine hydro-électrique. La première, l'Albole, est une petite rivière offrant environ 200 mètres de chute ; la deuxième est la chute de Varone qui tombe de 100 mètres de hauteur ; la troisième est la Ponale qui va se jeter dans le lac après plusieurs cascades, dont la dernière, le célèbre « Ponalefall », fait un bond de 60 mètres ; mais la Ponale seule se montrait exceptionnellement favorable à l'établissement d'une usine hydraulique, malgré les difficultés qui se présentaient pour capter l'eau, la conduire et pour construire la station centrale dans une étroite gorge à parois de rocher ; on a donc choisi la Ponale, qui peut fournir une puissance de 2000 chevaux. Le courant triphasé fut choisi et les ateliers de construction Oerlikon furent chargés de l'exécution de l'installation. L'usine fut construite en deux fois.

La station centrale est construite tout près du Ponalefall, à 3,5 km. du centre de la ville de Riva et à 50 mètres au-dessus du niveau du lac, sur le versant de la chaîne du Val di Ledro. Le bâtiment est une construction en briques avec toiture de fer et bois. La couverture est en tuile de Terzacotta (fig. 1).

Le rez-de-chaussée de l'usine se compose de deux parties. La première comprend quatre pièces d'habitation pour le personnel de l'usine et la salle des machines pour trois groupes de 150 chevaux (64,7 mètres carrés) ; la seconde comprend une salle des machines (86 mètres carrés) pour deux groupes de 300 chevaux, dont un seul existe jusqu'à présent, et l'espace occupé par le tableau de distribution (21,9 mètres carrés). Il existe, en outre, un premier étage avec une chambre d'habitation pour le personnel.

Chaque salle de machines est desservie par un pont roulant d'une puissance de 5 tonnes et éclairée par 10 lampes à incandescence. Le sol des salles de machines est parqueté.

De la centrale part la ligne à haute tension qui comprend plusieurs sections. La première amène le courant à Riva ; elle dût être conduite sur le versant des rochers escarpés qui bordent le lac, car la pose sur la route du rocher du Val di Ledro à la ville était interdite. Les 3 fils de phase et le conducteur neutre sont portés sur cette ligne par 140 supports scellés dans le roc et quelques mâts en bois et en fer, avec l'intermédiaire d'isolateurs à double cloche. Les fils en cuivre dur étiré ont un diamètre de 5,5 $^m/_m$. Les deux fils de bronze de 2,5 $^m/_m$, pour le téléphone entre la station centrale et la ville de Riva, sont posés le long de la route de la Ponale.

La ligne à haute tension qui suit le lac, aboutit à 3,5 km. de la station centrale à une tour de passage supérieur ; elle se raccorde avec un câble sous plomb à quatre conducteurs, d'une armature de fer et d'une enveloppe de jute ; le câble distribue le courant aux différentes stations de transformateurs de la ville. Ce câble, comme du reste tous ceux employés à Riva, est posé dans un lit de sable, à l'abri d'une voûte de tuile recouverte d'une couche de terre. La ligne à haute tension quitte la ville en deux points, pour se diriger d'un côté vers Torbole, d'un autre côté vers Varone ; en chacun de ces points on a élevé une tour de passage, où la ligne devient aérienne pour continuer son parcours.

La ligne aérienne allant vers Varone donne encore naissance à une autre ligne aérienne desservant San-Giacomo. La longueur de la ligne de câble en ville est d'environ 1 km., celle de la ligne de Torbole environ 4,5 km., de la ligne de Varone 3 km., et la dérivation de San-Giacomo de 200 mètres.

Les lignes à haute tension de Torbole, Varone et San-Giacomo sont montées sur des poteaux en bois avec isolateurs à double cloche. Le pied des poteaux est durci au feu pour en faciliter la bonne conservation. Les poteaux sont de 11 à 12 mètres de hauteur, ils por-

tent tous des calottes de protection et un certain nombre de pointes d'attraction. Chaque extrémité des lignes aériennes est munie de dispositifs de parafoudres.

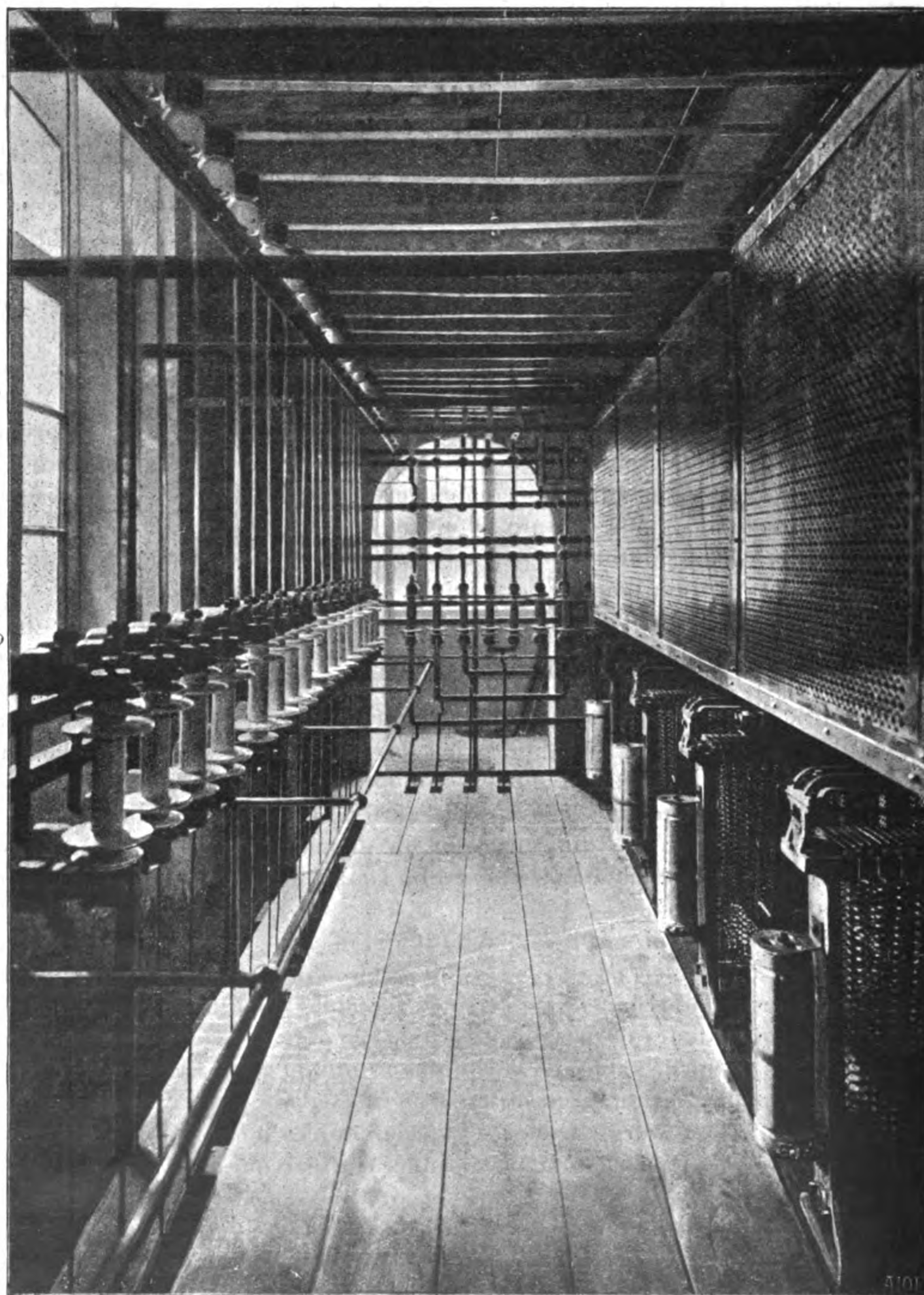


Fig. 2

Pour l'utilisation, le courant est transformé à basse tension.

Les transformateurs (fig. 2) sont établis dans des locaux à l'abri de l'incendie. Chaque

station de transformateurs est pourvue d'un interrupteur tétrapolaire pour haute tension et d'un autre pour basse tension, ainsi que des coupe-circuits et parafoudres nécessaires.

A Riva, on a établi 7 stations avec chacune un transformateur, savoir : 3 transformateurs de 40 kilowatts chacun, 3 transformateurs de 30 kilowatts et 1 de 20 kilowatts.

Torbole et San-Giacomo ont chacune une station avec un transformateur de 30 kilowatts ; Varone a deux stations avec deux transformateurs, l'un de 20 kilowatts, l'autre de 50 kilowatts.

La ligne à basse tension est exclusivement aérienne et court soit le long des maisons, soit sur des poteaux en bois. Les fils employés ont un diamètre variable de 4 à 8 $^m/_m$.

Le courant est utilisé pour la force motrice et l'éclairage.

Les moteurs sont branchés sur le réseau secondaire et travaillent sous une tension de 190 volts. Il y en a une vingtaine d'installés pour toutes sortes d'usages.

Les lampes à arc pour l'éclairage public de la ville de Riva sont portées en partie sur des candélabres ou bras de support façonnés, en partie sur des fils tendeurs ; la hauteur du corps lumineux au-dessus du sol est de 5 à 6 mètres. Ces lampes sont mises en série deux à deux et ont un pouvoir éclairant de 800 bougies chacune. L'éclairage public de Riva se compose de 20 lampes à arc.

Les lampes à incandescence sont branchées entre le conducteur d'une phase et le fil neutre ; elles brûlent sous une tension de 110 volts. Les lampes d'éclairage public sont montées sur des candélabres sur des bras-supports ou sur des poteaux en bois ; le corps lumineux se trouve à 5 mètres au-dessus du sol. Chacune des lampes à incandescence de l'éclairage public a un pouvoir éclairant de 32 bougies.

Comme nous l'avons déjà dit, le courant employé est du triphasé. Ce courant est réglé au tableau de distribution qui forme dans la salle des machines une construction autonome ; il présente du côté de la salle des machines un revêtement de marbre blanc occupant la partie supérieure de la façade et à la base, un revêtement en bandes de tôle perforée, qui permet une bonne ventilation de l'intérieur de ce tableau.

Le revêtement de la façade comprend 5 panneaux pour les instruments des machines et 1 panneau pour les instruments généraux. Parmi les panneaux des machines, quatre portent chacun un ampèremètre, un voltmètre, le levier d'un interrupteur tétrapolaire, le dispositif de démarrage et de réglage, un ampèremètre d'excitation et une lampe de phase. Le cinquième panneau est réservé pour le générateur qu'on doit installer plus tard. Le panneau des instruments généraux porte un voltmètre mobile à rotation, le commutateur pour la mesure de la tension sur les trois phases et un ampèremètre pour chaque phase. La paroi des instruments de mesure est pourvue d'un éclairage spécial formé de trois lampes.

La chambre de distribution est séparée en deux parties par un couloir de service. La partie située du côté des machines contient, dans une clôture spéciale en tôle perforée, les interrupteurs tétrapolaires à haute tension. Au-dessus d'eux sont montés les transformateurs de mesure avec leurs coupe-circuits de ligne et deux interrupteurs de ligne (1 pour 4 coupe-circuits). Ces 8 coupe-circuits sont continuellement sous tension, mais 4 seulement à la fois livrent passage au courant, l'un des interrupteurs étant ouvert. Si l'un des coupe-circuits vient à fondre, on met la série hors circuit et on branche la deuxième série ; on peut ainsi opérer le remplacement des fusibles sans le moindre dérangement ou arrêt d'exploitation.

La chambre de distribution abrite encore un transformateur de 5 kilowatts pour l'éclairage de la station centrale et des environs.

***

Des conducteurs guidés dans des caniveaux maçonnés et recouverts d'un parquet relient le tableau aux générateurs.

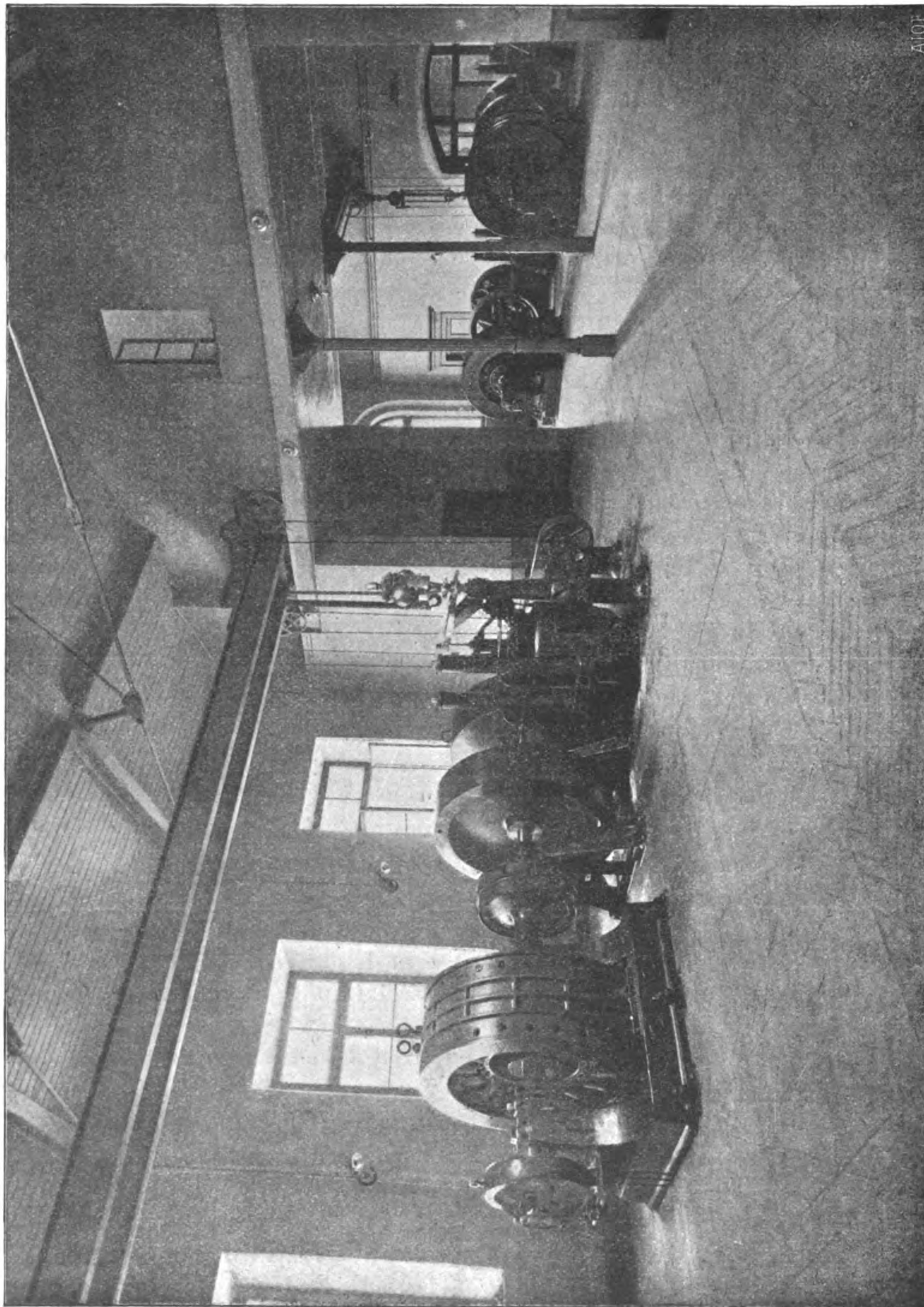


Fig. 3

L'installation comprend trois générateurs à courant triphasé, absorbant chacun 150 chevaux et un générateur à courant triphasé pour absorber une puissance de 300 chevaux. Tous

les générateurs sont commandés directement par les turbines, au moyen d'accouplements isolants et élastiques ; ils débitent sous 3460 volts de tension composée à une fréquence de 50 périodes par seconde. Les dynamos excitatrices sont accouplées directement aux générateurs.

Les trois générateurs de 150 chevaux font 500 révolutions à la minute. L'alésage de l'armature est de 1012 m/m et le diamètre de 1000 m/m. L'induit se compose de 18 bobines, dont 2 à 60 spires et les autres à 59 spires et demi de fil de $2,0 \times 3,5$ m/m. La bobine inductrice est formée de 805 spires de fil de $3,8 \times 4,3$ m/m.

Le générateur de 300 chevaux fait 430 révolutions par minute. Le diamètre d'alésage de l'armature est de 1300 m/m; l'enroulement induit se compose de 21 bobines, tandis que l'armature a 42 rainures. Chaque bobine est formée de 42 spires de fil de $4,4 \times 5$ m/m. Le diamètre de la couronne inductrice est de 1292 m/m Les 14 bobines inductrices sont mises en série et se composent chacune de 130 spires de fil de $6,0 \times 6,5$ m/m.

Les turbines, ainsi que les tuyaux de conduite et les armatures en fer de la prise d'eau et du réservoir, ont été livrés par les ateliers mécaniques J. Ig. Rüsch à Dornbirn en Vorarlberg. Deux des turbines de 150 chevaux sont des turbines Girard à admission extérieure construites pour une chute effective de 100 mètres; pour la construction de la troisième turbine de 150 chevaux, exécutée en roue à augets, la chute utile envisagée a été de 116 mètres. La disposition d'ensemble est la même pour les trois turbines ; elles tournent à 500 tours à la minute. Les essais au frein exécutés sur la troisième turbine ont accusé un rendement de 81,33 % pour l'admission totale et de 80,84 % pour une admission partielle de la moitié des aubages.

Les trois turbines sont pourvues de la même régulation qui se compose d'une régulation à main, agissant sur le tiroir d'ouverture des aubages directeurs, et d'une régulation automatique sur la vanne annulaire d'admission dans le tuyau d'amenée. Un pendule centrifuge à axe horizontal est entraîné avec une transmission à roues hélicoïdales, par l'arbre de la turbine et agit sur la vanne annulaire par l'intermédiaire d'un relais hydraulique, dans lequel arrive une certaine quantité d'eau sous pression prise, par un cylindre-filtre branché sur la conduite de pression.

La turbine de 300 chevaux est une roue à augets, système Rüsch. L'eau traverse la soupape de réglage et pénètre dans la boîte de distribution de la turbine ; elle arrive dans le distributeur d'augets, qui est en bronze phosphoreux et avec une ouverture réglable à chaque auget au moyen d'un tiroir à crémaillère. On règle à la main la soupape de retenue, au moyen d'un volant fixé à la turbine. Les aubages de la roue mobile sont en métal Delta et interchangeables. La régulation automatique se compose d'une soupape de réglage à l'entrée de la boîte de distribution et d'un relais hydraulique commandé par un pendule centrifuge très sensible. L'arbre de la régulation est maintenu par une cataracte à huile qui évite les chocs trop brusques. Les essais au frein ont accusé un rendement de 82 % avec admission totale.

Pour toutes les turbines, la régulation est encore assurée par un volant calé sur l'arbre entre la turbine et le générateur électrique ; en outre, la vanne de sûreté mentionnée précédemment empêche la production des coups d'eau provenant de l'action trop rapide du régulateur.

L'eau alimentant les turbines est prise à la Ponale qui offre un débit minimum de 1860 à 2000 litres à la seconde ; elle sort à 600 mètres au-dessus du lac de Garde, du lac Ledro, qui forme ainsi un vaste réservoir naturel, alimenté exclusivement par des sources souterrai-

nes. En outre, sur son parcours de 17 kilomètres, la Ponale s'enrichit encore de nouvelles et abondantes sources.

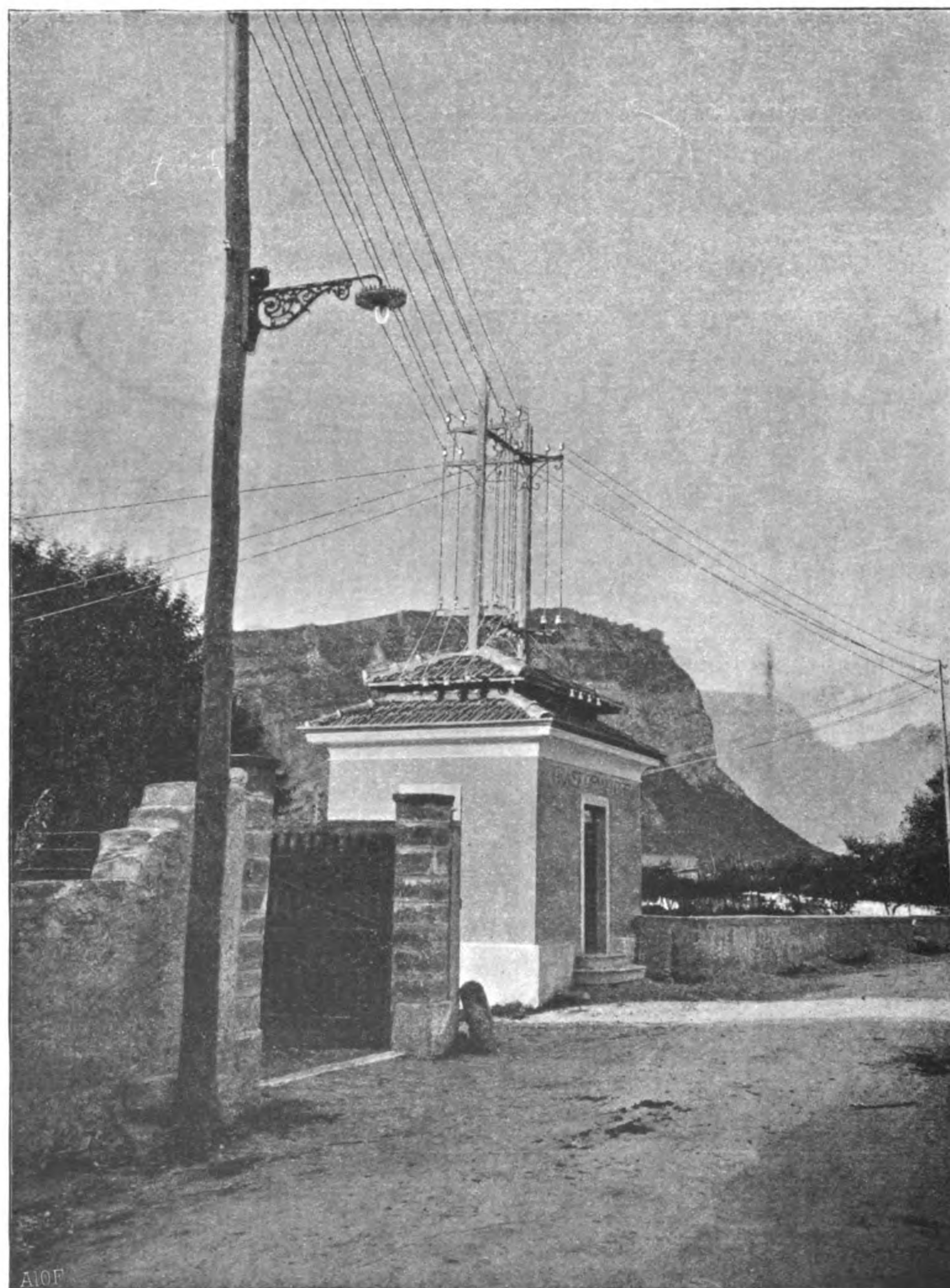


Fig. 4

La prise d'eau proprement dite se fait à 170 mètres au-dessus du lac; elle est formée par une bouche de prise d'eau construite en fer et présentant un orifice d'entrée suffisant et un trop plein à vanne d'écluse.

L'eau captée à la prise d'eau suit un canal découvert de 35 mètres de longueur, 2 mètres de profondeur et 2,20 mètres de largeur et arrive dans une galerie accessible et visitable de 240 mètres de longueur, percée dans le roc ; cette galerie communique elle-même par un canal découvert de 8 mètres de longueur avec une autre galerie de 160 mètres ; cette

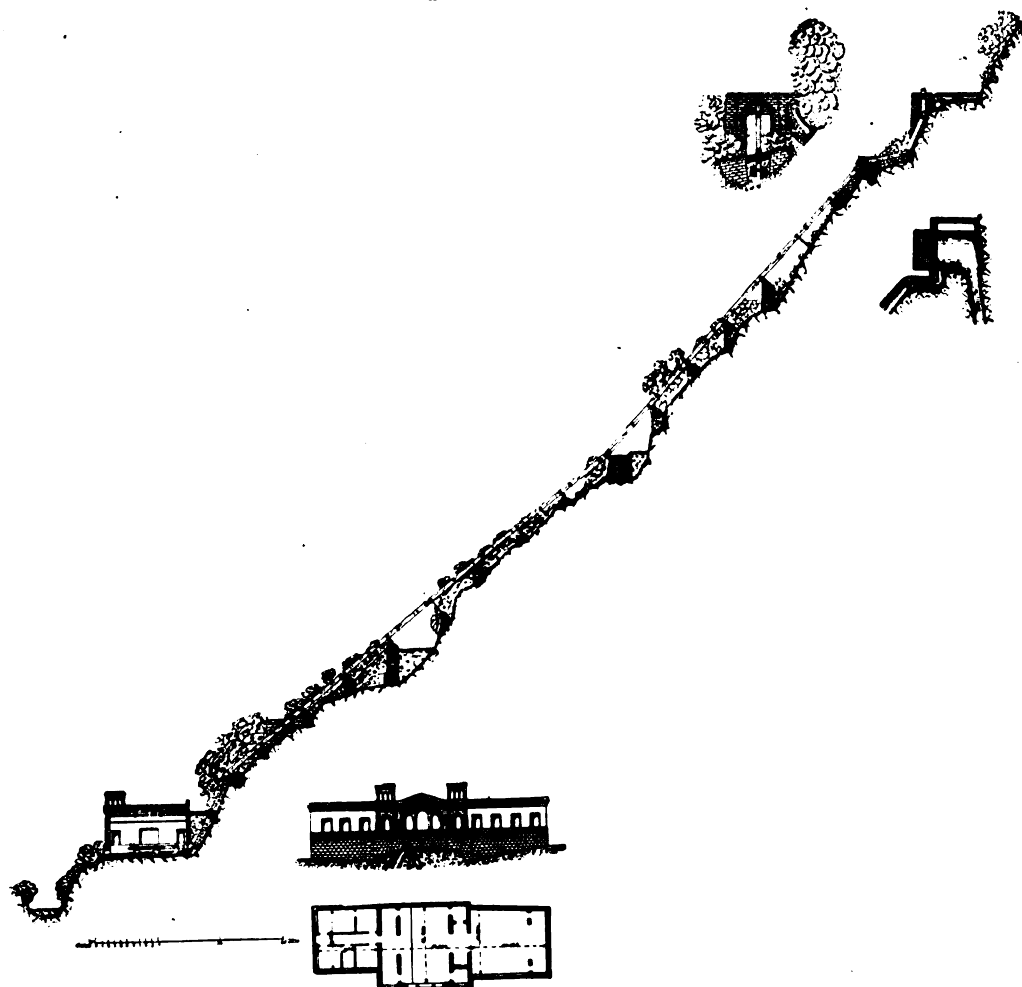


Fig. 5

dernière débouche dans un petit réservoir. Dans celui-ci est disposé un bassin de dépôt d'une capacité suffisante ; à la suite se trouve une grille avec manteau filtre démontable et relevable. Sur le côté est aménagée l'ouverture du canal de décharge.

La conduite sous pression reliant le réservoir à la station centrale mesure 170 mètres de longueur ; elle est formée par des tuyaux d'acier de 700 $^m/_m$ de diamètre rivés ensemble ; la disposition d'ensemble et le soutien général sont ménagés pour pouvoir recevoir encore dans l'avenir deux séries de tuyaux semblables parallèles au premier.

La conduite de pression repose à découvert sur la paroi escarpée du rocher et en partie, au passage des crevasses, sur des pilastres de maçonnerie construits sur le roc ou sur des supports en fer élevés et suspendus.

On a ménagé la possibilité de déplacer la conduite par l'installation de deux compensateurs appropriés.

La conduite de distribution de l'eau se branche au pied de la conduite de tension forte-

ment soutenue à sa base ; elle se compose d'un canal percé dans le roc dans le voisinage de l'usine et pourvu à son extrémité d'une double vanne de sécurité, combinée avec un tiroir de décharge.

J. Reyval.

BREVETS

Commutateur automatique. — Brevet américain **J.-L. Russel,** 22 mars 1904.

M. J.-L. Russel, de Boston (Massachusetts) a imaginé récemment une disposition assez simple et originale supprimant les mécanismes d'horlogerie plus ou moins compliqués habituels, et applicable dans tous les cas où on désire réaliser un allumage intermittent. Son appareil est particulièrement utilisable pour les signaux et avis à illumination alternative.

L'instrument se compose, en principe, dans sa forme la plus générale, d'un fléau mobile autour d'un axe médian et le plus souvent constitué d'un tube de verre contenant un liquide quelconque et terminé, à chaque extrémité, par une ampoule-réservoir. Ce fléau porte une tige de contact qui établit une communication électrique dans un sens ou dans l'autre, selon la position du levier; il est monté sur une caisse qui contient deux lampes ; dans une première position du levier, c'est, par exemple, la lampe de droite qui est allumée et illumine le signal, en même temps qu'elle échauffe le liquide de l'ampoule qui se trouve dans son voisinage ; les vapeurs qui résultent de cet échauffement chassent le liquide dans le réservoir opposé ; quand le contenu de celui-ci est suffisant, le fléau bascule et l'allumage se produit en sens inverse ; des mouvements successifs du levier se répètent ainsi aussi longtemps que l'instrument reste en circuit.

Voici, au surplus, la description détaillée de cet arrangement qui est la meilleure application de la disposition conçue par l'inventeur, laquelle ne peut manquer, grâce à son ingénieuse simplicité, dit M. Russel, de solliciter l'attention du spectateur.

Tout le système est monté dans une boîte 1 pourvue d'un interrupteur ordinaire 15 qui permet de mettre à volonté, dans le circuit ou hors de celui-ci, le petit commutateur automatique. La boîte possède un couvercle à glissière totalement ou partiellement transparent 2 et muni du dispositif avertisseur. A sa partie supérieure, repose sur deux tourillons 6, par l'intermédiaire d'un petit axe horizontal 7, le fléau creux 8 de verre avec les ampoules terminales 8^c ; la paroi du haut est percée de deux ouvertures que limitent deux écrans 22 ; ceux-ci ont pour but de soustraire le tube du fléau, ou plutôt le liquide contenu dans cette partie du système à l'action de la chaleur qui ne peut de la sorte exercer son action que sur le contenu 8^d même des ampoules. L'expérience a démontré, en effet, qu'il est indispensable qu'il en soit ainsi si l'on veut obtenir un fonctionnement bien régulier du dispositif ; quand cette précaution n'est pas réalisée, on constate que le liquide, échauffé, s'élève dans les deux branches, au lieu de passer nettement et franchement de l'un des réservoirs à l'autre.

Le chauffage du liquide est produit par les lampes d'illumination elles-mêmes 4 et 5 ; ce sont, par exemple, deux lampes à incandescence disposées à l'intérieur de la boîte sur des consoles 3 de celle-ci et dont on colore, au besoin, l'une en rouge 4, en laissant l'autre 5 incolore, de façon à obtenir des éclairages de couleurs variées sur le couvercle transparent.

Le fléau porte en son milieu un cylindre métallique 8^b à travers lequel s'étend la barre 7 constituant l'axe du levier ; dans ce cylindre est placé un crayon de charbon 11. Le cylindre, qui traverse le couvercle dans une ouverture à ce destinée 10, se trouve avec le crayon à l'intérieur de la boîte.

La paroi supérieure de celle-ci est également pourvue, intérieurement, de deux ressorts de contact 12 et 13 disposés de part et d'autre du crayon de charbon, lequel est taillé en pointe conique, de telle façon que ce crayon, dans l'une des positions du levier, s'appuie sur l'un des

ressorts, tandis qu'il vient s'appliquer sur l'autre dans la seconde position du fléau.

Celui-ci, avec ses deux bouilleurs, constitue donc en fin de compte la partie motrice de l'appareil. Nous avons vu comment se produit son mouvement de bascule. Le liquide qu'il contient — c'est, par exemple, de l'alcool — chauffé se dilate, se vaporise en partie et, pour cette double raison, passe de l'ampoule soumise à l'action de la chaleur à l'autre.

Quant aux connexions électriques établies intérieurement, elles sont les suivantes :

Le conducteur double pénètre dans la boîte par une ouverture latérale; l'un des fils 20 se rend directement, par deux dérivations, à l'un des contacts des sockets des lampes ; le second contact du socket de la lampe 4 est connecté au ressort placé du côté de la lampe 5, et inversement le second contact du socket de la lampe 5 est relié au ressort du côté de la seconde lampe; le second fil 16, après son introduction dans la boîte se rend à l'une des bornes d'une clef ou interrupteur se manœuvrant extérieurement ; c'est un interrupteur à poignée et rotatif pour

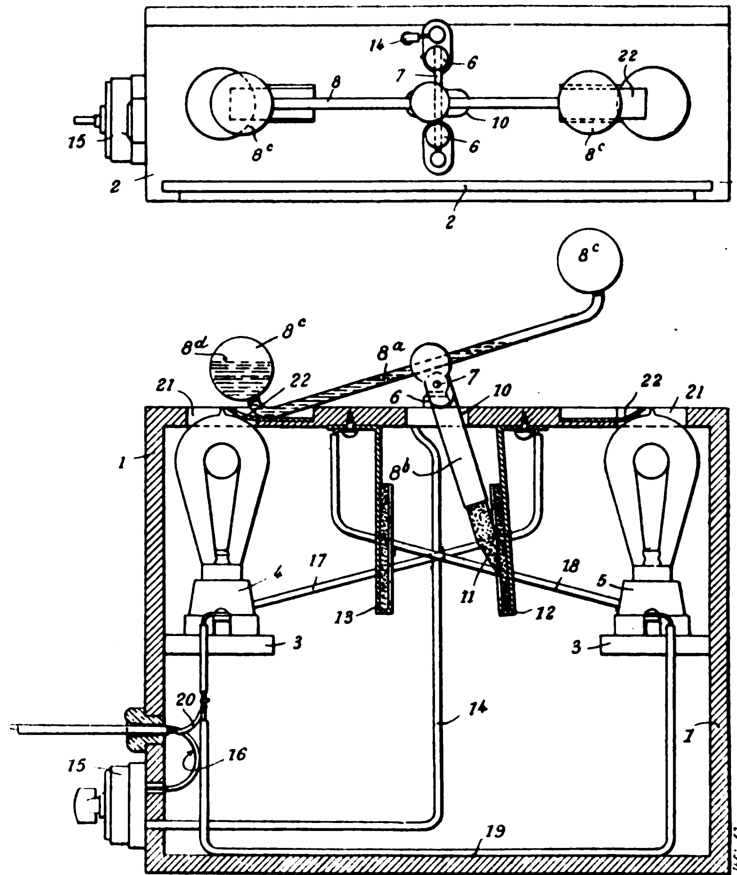


Fig. 1

lampe ordinaire ; la seconde borne est en relation par l'intermédiaire du support et de l'axe du fléau avec le cylindre de métal portant le crayon de charbon. Ceci posé, le fonctionnement et l'établissement du courant dans un sens ou dans l'autre, c'est-à-dire à travers l'une ou l'autre lampe alternativement et par période, se comprend sans qu'il soit nécessaire d'insister à ce sujet.

Quand le crayon 11 que porte 8^b est au contact du ressort 12, c'est la lampe 4 qui brûle ; le fléau est alors incliné vers la gauche et le liquide 8^d de l'ampoule 8^c s'échauffe graduellement et passe dans le réservoir opposé, ce qui, finalement, provoque le mouvement de bascule et l'allumage de la lampe 5, après que s'est produite l'extinction de la lampe 4.

Cette commutation se comprend sans peine

par l'examen des figures auxquelles nous nous sommes référé et qui représentent respectivement une vue en plan d'un appareil avertisseur ou d'enseigne, etc., et une coupe, suivant la ligne 22 de la première figure, de ce même appareil.

Telle est, dans ses grandes lignes la principale disposition indiquée par M. Russel ; on remarquera que cet arrangement n'est pas le seul qui puisse être réalisé, bien que ce soit celui qui paraisse préférable à tout autre ; on pourrait, à la rigueur, remplacer les lampes électriques par des lampes ordinaires quelconques de façon à pouvoir employer l'instrument là où on ne dispose pas du courant électrique ; évidemment cette substitution entraînerait une appropriation du commutateur qui aurait pour conséquence de faire perdre à l'appareil la grande simplicité qui le caractérise.

C'est donc autant que possible, comme il est dit ci-dessus, ou tout au moins dans une forme analogue qu'il convient d'employer le dispositif.

E. G.

Dispositif de sûreté contre le dérapage des perches de trôlet. — Brevet américain du 22 avril 1904.

L'appareil que l'*Electric and Steam Railway Supply Co*, a récemment fait breveter est contenu dans une boîte mobile A (fig. 1 et 2) qui se fixe sur un support, placé à chacune des extrémités de la voiture, à l'aide d'un écrou à oreilles *b*. L'extrémité de la corde de la perche est fixée à la périphérie d'un tambour à ressort H, monté sur un axe E, et pourvu d'une roue à rochet I dont il est solidaire. Par l'intermédiaire d'un cliquet n^1, ce tambour peut être couplé à un second tambour à ressort M, semblable au premier.

Le ressort ordinaire de la perche qui fait appuyer la roue du trôlet sur le conducteur aérien est assez puissant pour contre-balancer celui contenu dans le tambour H, mais ne peut résister à l'effort combiné de H et M. Le cliquet n^1 est fixé à un levier articulé n, muni d'une projection n^5 et d'une queue n^2 sur lesquelles agit un ressort n^3. Normalement, n^1 est dégagé du rochet I, et est maintenu dans cette position par l'extrémité recourbée O' de la tige O qui termine l'armature d'un électro Q.

Sur la perche, tout près de la poulie, sont fixés deux petits bras métalliques 9,10 disposés l'un et l'autre dans le circuit de l'électro Q qui comprend aussi une sonnerie (fig. 3).

Les connexions des organes de la boîte A avec la perche s'établissent automatiquement par le contact des lames-ressorts C, C^1, C^2, C^3 de A avec celles D, D^1, D^2, D^3, du support.

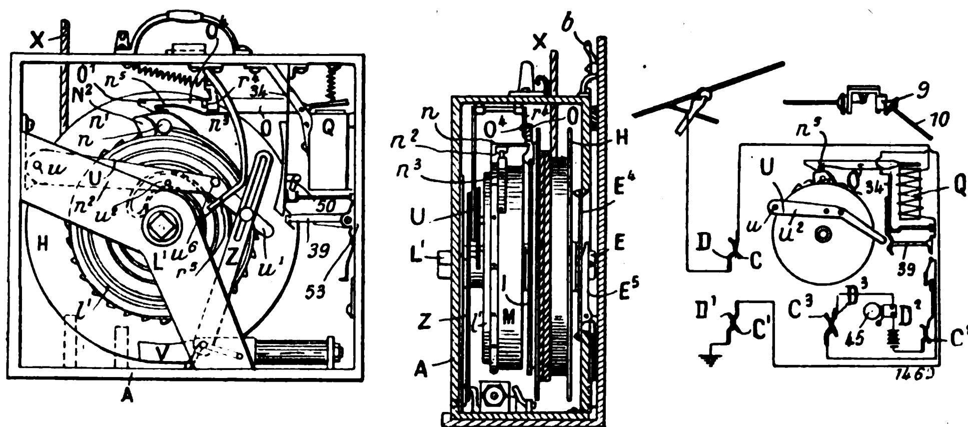


Fig. 1, 2 et 3

Quand la poulie du trôlet quitte accidentellement le conducteur, ce dernier vient en contact de l'un des bras 9,10, et envoie, par suite, du courant dans l'électro Q, dont le jeu libère la détente 5 et fait engager le cliquet dans une des dents de I, le levier O étant maintenu soulevé par la tige o^1 logée en r^1. Les ressorts des deux tambours exercent alors leur action combinée et font enrouler la corde pour abaisser la perche. Pendant qu'ils exécutent ce mouvement de rotation, les saillies circulaires l', de la face extérieure de M, déplacent une came u^2, du levier U, laquelle amène ce dernier à faire jouer un ressort 34 dont le déclanchement libère le levier de contact 39 ; c'est ce dernier qui, en retombant, ferme le circuit de la sonnerie (fig. 3) qui avertit le conducteur.

La continuation du mouvement qu'exécute le levier U, provoque le déplacement du bras à coulisse Z dont la fonction consiste à amener le tampon d'un amortisseur à ressort V dans le chemin de la butée N^2, des tambours, pour arrêter ces derniers.

La corde du trôlet peut ensuite être déroulée à la main ou bien à l'aide d'une clé venant s'adapter sur la tige à 4 pans de l'extrémité de l'axe des tambours. Le mouvement de rotation inverse qui est imprimé à ces derniers ramène les cames et les leviers à leur position primitive.

L. D.

***Avertisseur électrique.* J. Weatherby.** — Brevet américain du 16 avril 1904.

Ce dispositif est appliqué à un coffre-fort ayant, comme celui représenté fig. 1, deux postes avertisseurs : l'un situé dans un local constamment habité, par exemple; l'autre dans un poste de police. Les connexions principales de ces deux postes sont renfermées dans un compartiment 11, à l'intérieur même du coffre.

Normalement, le courant nécessaire au fonctionnement des appareils est pris aux circuits d'éclairage 47, 48, mais dans le cas où ce dernier viendrait à manquer, soit qu'il fasse accidentellement défaut ou qu'il ait été volontairement coupé, un électro 42 met immédiatement une pile 53 en circuit avec les appareils du coffre et ceux des postes avertisseurs. Si, par suite, ce circuit vient lui-même à être coupé, les électros 21, 22, des deux postes cessent d'être actifs et libèrent leurs armatures lesquelles, rappelées par leurs ressorts, viennent buter contre un contact et fermer, par ce fait, le circuit d'une pile renfermée dans chacun des postes sur la sonnerie d'alarme 57. En même temps, l'électro 35 a également libéré son

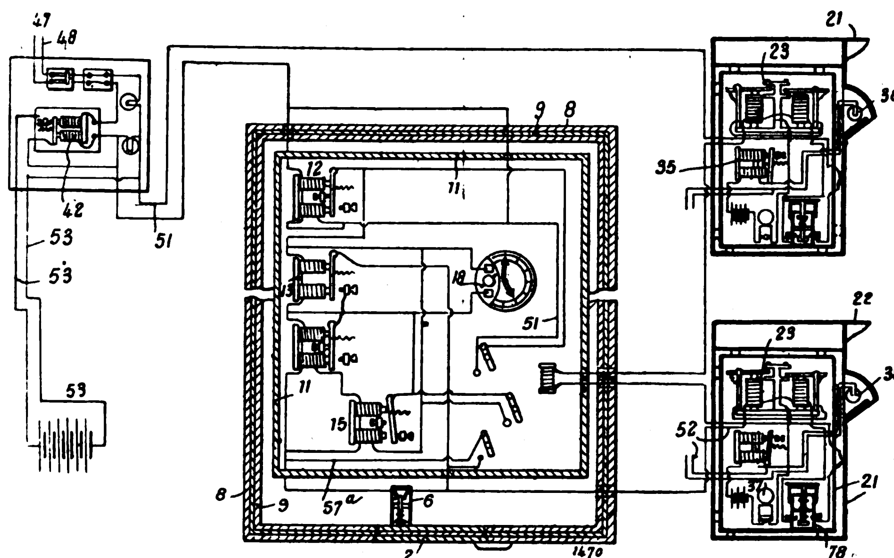


Fig. 1

armature dont le jeu provoque des allumages intermittents des lampes 38. La même action se reproduit quand on coupe le circuit principal, soit en ouvrant la porte du coffre ou celle de l'un des postes avertisseurs, soit en versant du sable dans ces derniers pour détruire les connexions. En effet, la construction des caisses contenant les signaux d'alarme est telle que le sable qui y serait introduit dans ce but viendrait tomber dans un plateau disposé comme une balance 73, en provoquer l'abaissement et, par suite, la fermeture du circuit sur les appareils d'alarme.

Le coffre-fort lui-même forme une partie des circuits ; il est formé de deux chambres, l'une intérieure et l'autre extérieure, séparées par un isolant. Dès qu'on veut percer ces parois à l'aide d'un vilebrequin, la mèche de ce dernier ne peut manquer de relier les deux enveloppes et, par suite, fermer le circuit des avertisseurs.

Pendant les heures de la journée, c'est-à-dire quand on utilise le coffre-fort pour le besoin des affaires, un mouvement d'horlogerie 18 met l'électro 13 en court-circuit ce qui forme un shunt avec le contact 6 de la porte du coffre en même temps qu'un électro est excité pour maintenir le court-circuit dans 13 pendant tout le temps que la porte reste ouverte.

L. D.

****

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

La réluctance magnétique des entrefers. — **Benischke.** — Electrotechnische Zeitschrift, 15 septembre.

Dans un grand nombre de calculs on ne peut pas obtenir une exactitude, même assez peu approchée, parce que l'on ignore quel est le trajet des lignes de force dans l'air entre deux surfaces polaires. Nous avons fait à ce sujet une série de mesures pour le cas le plus simple où les lignes de forces passent entre deux surfaces polaires parallèles carrées et où l'enroulement magnétisant va jusqu'au voisinage des surfaces polaires. (fig. 1) : La distance entre l'enroulement et les surfaces était 1 cm.

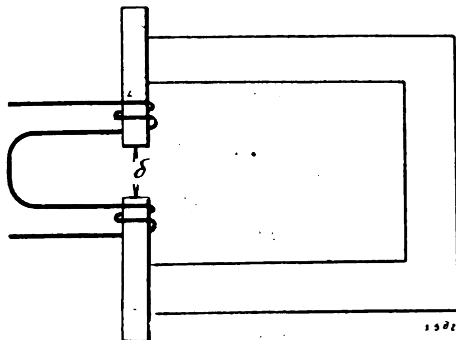


Fig. 1

Nous avons employé, pour ces mesures, du courant alternatif parce que la détermination du flux est plus facile que dans le cas du courant continu. Les noyaux de fer étaient constitués par des tôles de 0,5 mm.

La réluctance magnétique totale R_g du faisceau de ligne de forces est facile à calculer au moyen des deux formules suivantes

$$\Phi = \frac{E\ 10^8}{4{,}44\ nN},$$

$$\Phi = \frac{0{,}4\ \pi N I_m}{R_g}.$$

Φ désignant le flux; I_m la valeur maxima du courant d'aimantation, N le nombre de tours. La f. e. m. E et la valeur efficace J_m du courant magnétisant sont déduites des mesures de la différence de potentiel aux bornes, de la puissance en watts, et de l'intensité. De J_m on déduit I_m en multiplant la valeur trouvée par le facteur de forme de l'onde de courant. Ce dernier, pour une bobine de self-induction faiblement saturée (B = environ 5000) et un entrefer relativement grand est à peu près égal au facteur de forme de la courbe de tension ; comme cette dernière était sinusoïdale, nous avons posé $\sigma = 1{,}4$.

De la réluctance totale R_g nous avons déduit la réluctance magnétique du filet de lignes de forces dans le noyau de fer ; il ne reste donc plus que la réluctance magnétique R de l'entrefer.

Nous avons trouvé, de cette façon, pour diverses surfaces polaires, par exemple pour 0,37 ; 0,75, 1,96 ; 3,8 et 8,8 cm² les réluctances que représentent les courbes de la fig. 2 en fonction de l'entrefer δ. Si l'on calcule, au moyen de la formule

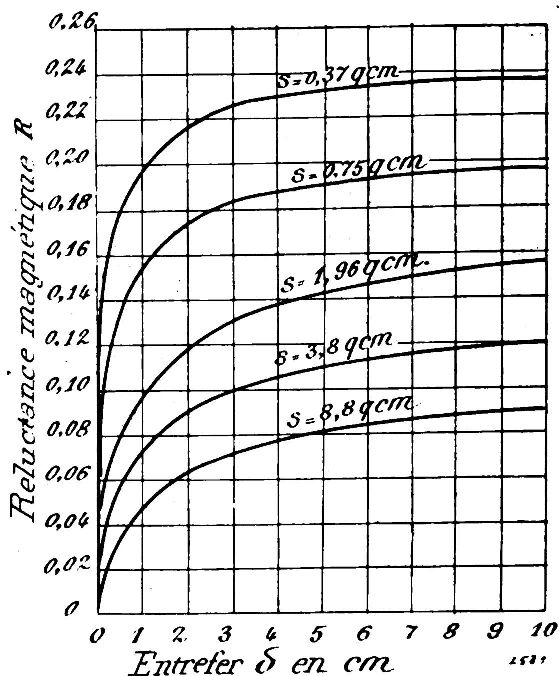


Fig. 2

$$R = \frac{S}{\delta}$$

la section S équivalente du faisceau de lignes de forces dans l'air, c'est-à-dire la section qne devrait avoir le faisceau si l'espace était rempli

d'une façon homogène de lignes parallèles, on trouve les courbes de la fig. 3. Comme on le voit ce sont approximativement des droites de la forme :

$$S = s + K\delta ,$$

où S est l'ordonnée pour $\delta = o$, c'est-à-dire représente la surface polaire. Le facteur K qui représente la tangente de l'angle d'inclinaison

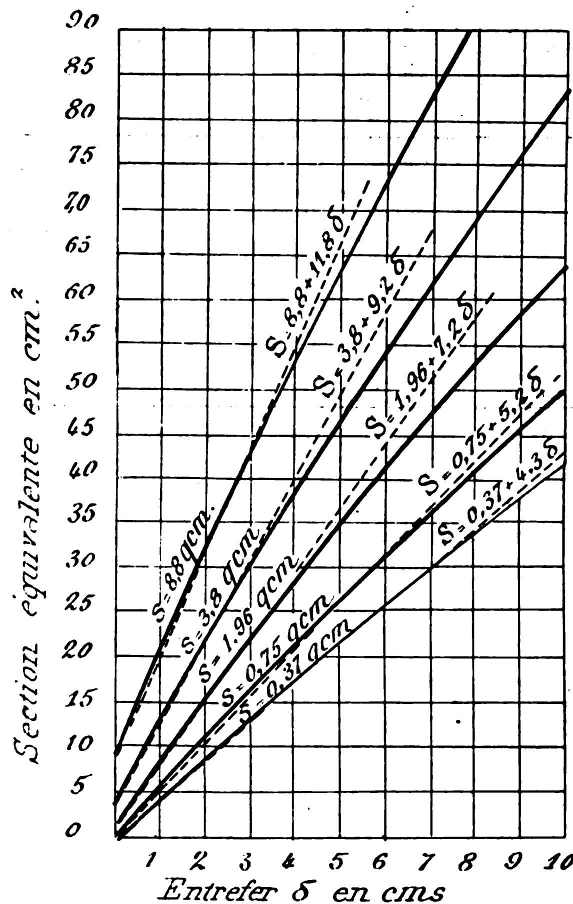


Fig. 3

des droites varie pour différentes surfaces polaires.

Les courbes donnent pour K les valeurs suivantes en fonction de *s* :

S	0,37	0,75	1,96	3,8	8,8
K	4,3	5,2	7,2	9,2	11,8

La courbe 4 représente K en fonction de *s*.

On peut, avec l'aide de ces courbes et de l'équation précédente, calculer la section équivalente S d'un faisceau de lignes de force dans l'air avec une assez bonne approximation, pour des entrefers atteignant 8 cm.

Les courbes sont valables pour des surfaces polaires rondes de même grandeur; par contre, elles donnent des résultats peu approchés pour

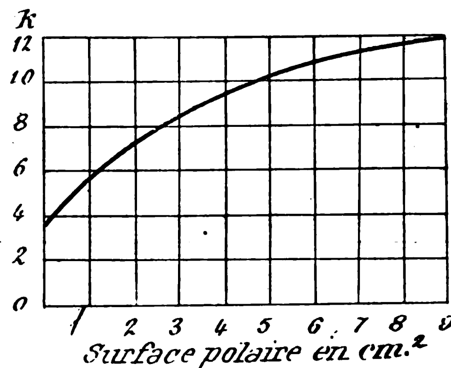


Fig. 4

des surfaces polaires rectangulaires dont un côté est beaucoup plus grand que l'autre.

L'application de ces résultats au calcul de la dispersion magnétique des moteurs triphasés fera l'objet d'une prochaine étude.

O. A.

Expériences faites avec un transformateur à forte capacité propre. — **Leo Lichtenstein.** — Elektrotechnische Zeitschrift, 9 octobre.

Les expériences dont il s'agit ont été faites sur un transformateur dont les enroulements étaient les suivants :

Primaire : 2 × 30 tours de 42^{mm^2} — cuivre plat.

Résistance par bobine : 0,0096 ohms.

Secondaire : 2 × 30,000 tours de $0,25^{mm}$ de diamètre — fil.

Longueur totale : 2 × 34,050 mètres.

Résistance par bobine : environ 12,150 ohms.

Les bobines à basse tension sont en parallèle; les bobines à haute tension peuvent être groupées à volonté en parallèle ou en série. Le rapport de transformation est donc $\frac{1}{1000}$ ou $\frac{1}{2000}$.

Le transfornateur est calculé pour une différence de potentiel d'environ 100 volts à 50 périodes au primaire et peut, par conséquent, donner des différences de potentiel de 200,000 volts au secondaire. Le courant, lorsque les enroulements secondaires sont en série, est 0,05 amp., correspondant à la puissance de 10 kw.

Ces expériences ont été motivées par le fait que, à circuit secondaire ouvert, le courant primaire, pour une différence de potentiel primaire invariable était différent suivant que les enroulements à haute tension étaient en parallèle ou en série. Une autre expérience avait montré que le courant primaire n'était pas le même, quand un pôlede l'enroulement secondaire était à la terre, que quand les deux pôles étaient isolés. Le tableau suivant donne les valeurs du courant primaire pour divers montages du secondaire.

Comme on le voit, il se produit pour les différents montages, des différences de courant atteignant 50 %. Cela peut être expliqué par la capacité sensible du secondaire qui, à circuit ouvert, provoque des courants de charge dont l'intensité dépend du couplage.

Différence de potentiel primaire volts	COURANT primaire ampères	Différence de potentiel secondaire volts	COURANT secondaire ampères	FACTEUR de puissance primaire cos φ	MONTAGE au secondaire	REMARQUES
45,2	8,78	45 200	0,00844	0,858	fig. 1	Le courant primaire est en arrière de la différence de potentiel.
45,0	13,38	90 000	0,0133	0,686	fig. 2	Le courant primaire est en avance sur la différence de potentiel.
45,0	8,65	90 000	0.00496	0,852	fig. 3	Le courant primaire est en arrière de la différence de potentiel.
45,2	10,4	45 000	—	0,634	fig. 4a et 4b	Id.

Cette hypothèse a été entièrement confirmée par la mesure directe du courant de charge secondaire. Nous avons intercalé dans le circuit secondaire un voltmètre de précision gradué en milliampèremètre, dont la résistance propre était 10,000 ohms. Comme le courant de charge, de même que dans un câble ouvert, a différentes valeurs aux différents points, le milliampèremètre était intercalé au point où l'intensité du courant était maxima. Ce point, pour le montage en série avec pôles isolés, est au milieu de l'enroulement (fig. 3); si un pôle est à la terre, le maximum d'intensité est en ce point (fig. 2). La fig. 1 indique le dispositif avec montage en parallèle.

La quatrième colonne du tableau donne les valeurs du courant secondaire. Pour le montage en parallèle avec pôles isolés, le point d'intensité maxima est le même quand les extrémités des bobines sont réunies ensemble ou non (fig. 4ᵃ et 4ᵇ).

Comme le montre la septième colonne du tableau, le courant primaire est décalé en avant de la tension dans le montage de la fig. 5.

Pour connaître le signe du facteur de puissance, nous avons placé en parallèle avec le transformateur une bobine de self induction et mesuré la valeur de J et de cos φ.

On a évidemment

$$J_{tr} \cos \varphi_{tr} + J_{bob} \cos \varphi_{bob} = J_{par} \cos \varphi_{par} \quad \text{(fig. } 5_a)$$

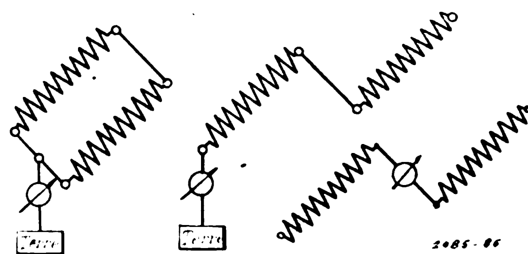


Fig. 1, 2 et 3

Si le courant primaire du transformateur est décalé en arriere de la tension, on a

$$J_{bob} \sin \varphi_{bob} + J_{tr} \sin \varphi_{tr} = J_{par} \sin \varphi_{par} \quad \text{(fig. } 5_a)$$

Si le courant est décalé en avant (fig. 5^b).

$$J_{bob} \sin \varphi_{bob} - J_{tr} \sin \varphi_{tr} = J_{par} \sin \varphi_{par}$$

Avec le montage de la fig. 2, on avait pour $t = 26,1$ volt.

$$J_{tr} = 7,16 \text{ Amp.}, \quad \cos \varphi_{tr} = 0,817$$
$$J_{bob} = 4,13 \text{ Amp.}, \quad \cos \varphi_{bob} = 0,0969$$
$$J_{par} = 6,58 \text{ Amp.}, \quad \cos \varphi_{par} = 0,965$$
$$J_{tr} \sin \varphi_{tr} = 4,16 \text{ Amp.}$$

$$J_{bob} \sin \varphi_{bob} = 4{,}07 \text{ Amp.}$$
$$J_{par} \sin \varphi_{par} = 1{,}72 \text{ Amp.}$$
$$J_{bob} \sin \varphi_{bob} - J_{tr} \sin \varphi_{tr} = -0{,}09 \text{ Amp.}$$

nombre peu différent de $J_{par} \sin \varphi_{par}$

On n'obtiendrait une concordance parfaite que pour des courbes de courant purement sinusoïdales.

Dans le cas présent, le courant primaire est décalé en avant sur la tension. L'influence de la capacité propre est donc tellement importante qu'elle renverse le sens du décalage primaire.

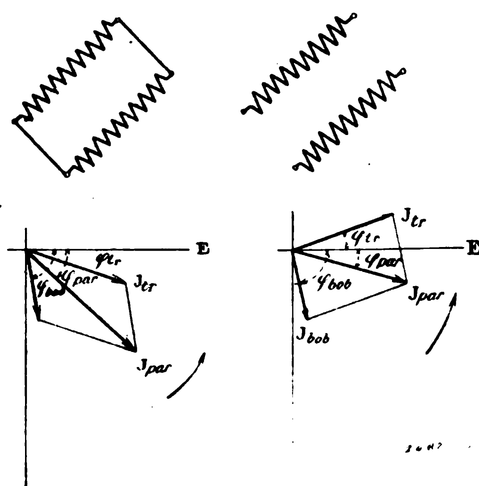


Fig. 4_a, 4_b, 5_a et 5_b

Pour obtenir une explication plausible du fonctionnement du transformateur, supposons que les tours d'enroulement secondaire ont une certaine capacité et que l'élément de conducteur dx se trouve une charge.

$$de = cEdx \qquad (1)$$

E est le potentiel, c la capacité par unité de longueur, que nous supposerons constante. E est fonction de la distance x d'une extrémité de l'enroulement et du temps

$$E = f(xt);$$

considérons le cas que représente la fig. 2.

Le pôle A est à la terre et a un potentiel nul. Si la différence de potentiel secondaire est E_e, la valeur efficace du potentiel en B (au second pôle) est E_e. En M la valeur efficace du potentiel est

$$E = E_l \frac{x}{l}$$

L'allure dans le temps du potentiel en D est donnée par la formule

$$E_t = E_l \sqrt{2} \frac{x}{l} \sin(\omega L) \qquad (2)$$

La charge en D est donnée par l'équation

$$de_t = cE_l \sqrt{2} \frac{x}{l} \sin(\omega L) dx$$

Elle subit dans le temps dt un accroissement

$$\frac{\partial dl_t}{\partial t} dt = cE_e \sqrt{2} \frac{x}{l} \omega \cos(\omega t) dx dt$$

Si l'on divise par dt l'accroissement de charge dans l'intervalle de temps dt, on trouve le courant de charge correspondant. Ce dernier est donné par l'équation

$$di_t = cE_l \sqrt{2} \frac{x}{l} \omega \cos(\omega t) dx \qquad (3)$$

On obtient le courant qui passe par une section D du fil secondaire en additionnant tous les éléments de courant (3) qui correspondent au segment DB. Nous trouvons ainsi :

$$J_t = cE_l \sqrt{2} \frac{\omega}{l} \cos(\omega t) \int_x^e x dx$$
$$= cE_l \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\omega}{l} \cos(\omega t) [e^2 - x^2]$$

La valeur efficace du courant est

$$J = cE\omega \frac{e^2 - x^2}{2l} \qquad (4)$$

Comme le montre cette formule, le courant est nul en B et maximum en A (fig. 6)

$$J^{(2)}_{max} = cE_l \omega \frac{l}{2} \qquad (5)$$

La fig. 6 montre graphiquement la répartition du courant le long du fil. La courbe est une parabole à axe horizontal. La phase du courant est partout la même et est décalée de 90° en avant de la tension.

Considérons le cas que représente la fig. 3. Au point M (milieu de l'enroulement) le potentiel est nul ; aux extrémités il est égal à $+\frac{E_l}{2}$ et $-\frac{E_l}{2}$. En M passe le courant maximum J_{max} (fig. 7). On trouve la valeur de ce dernier en remplaçant dans la formule 5, l par $\frac{l}{2}$ et E_l par $\frac{E_l}{2}$.

$$J^{(3)}_{max} = cE_l \omega \frac{e}{8}$$

Dans le montage de la fig. 1 (voir fig. 8) il faut introduire dans la formule 5 $\frac{l}{2}$ au lieu de l. L'expression que l'on obtient ainsi :

$$c . E_l . \omega . \frac{l}{4}$$

représente le courant dans une bobine. Le courant total traversant l'instrument de mesure est :

$$J^{(3)}_{max} = c \, E_l \, \omega \frac{l}{2}$$

Enfin dans le dispositif des fig. 4_a et 4_b, nous

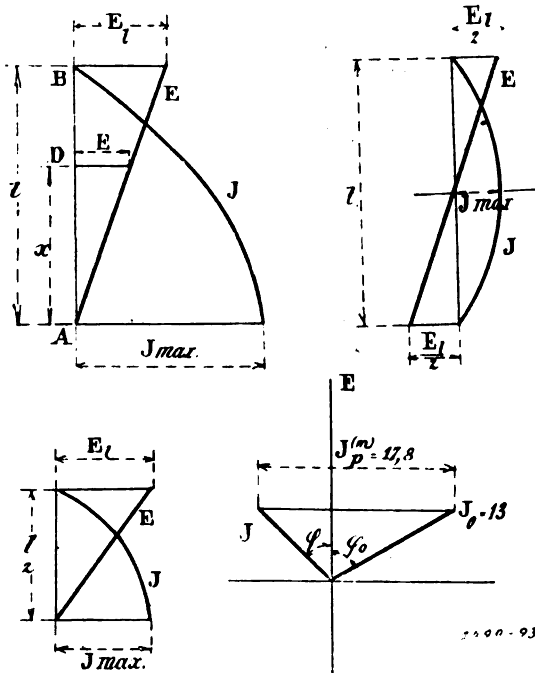


Fig. 6, 7, 8 et 9

trouvons pour le courant maximum qui traverse le point médian des enroulements l'expression :

$$J^{(4)}_{max} = c \, E_l \, \omega \frac{1}{8}$$

On trouve donc :

$$J^{(1)}_{max} : J^{(2)}_{max} : J^{(3)}_{max} : J^{(4)}_{max} = 1 : 4 : 4 : 1.$$

Ces chiffres correspondent à une différence de potentiel secondaire égale dans les 4 cas. Si l'on rapporte les courants de charge à une même différence de potentiel primaire, comme dans le tableau donné au début, on trouve facilement

$$J^{(1)}_{max} : J^{(2)}_{max} : J^{(3)}_{max} : J^{(4)}_{max} = 1 : 4 : 2 : 0{,}5$$

La mesure directe a donné :

$$J^{(1)}_{max} : J^{(2)}_{max} : J^{(3)}_{max} = 1 : 2{,}68 : 1{,}7$$

Il ne fallait pas s'attendre à une meilleure concordance, car l'hypothèse d'une capacité uniformément répartie ne répond pas exactement aux conditions réelles.

Au lieu de la « capacité par unité de longueur C » nous pouvons ainsi introduire la capacité totale $C = ce$

De l'équation (5) nous tirons alors :

$$J^{(2)}_{max} = E_l \, \omega \frac{C}{2}$$

$$C = \frac{2 \, J^{(2)}_{max}}{E . \omega}$$

Introduisons dans cette formule les valeurs de J_{max}, E_e, ω de notre tableau ; il vient

$$C = \frac{2 . 0{,}0133}{314 . 90\,000} \text{ farad} = 0{,}000945 \text{ microfarad}.$$

La capacité est donc en chiffres ronds

0,001 micro-farad.

Si l'on veut déterminer le nombre d'ampère-tours secondaires à circuit secondaire ouvert, il faut tenir compte que le courant efficace n'est pas partout le même. Dans le calcul, il faut introduire la valeur moyenne simple de toutes les valeurs de l'intensité. On trouve cette valeur moyenne en remplaçant par un rectangle équivalent la surface limitée par la parabole (fig. 6). Pour le montage de la fig, 2, le courant moyen est

$$J_{(m)} = \frac{2}{3} J_{max} = c \, E_l \omega \frac{l}{3}$$

Pour une différence de potentiel primaire de 45 volts, on a

$$J_{max} = 0{,}0133 \text{ amp.}$$

et

$$J_{(m)} = \frac{2}{3} 0{,}0133 = 0{,}0089.$$

A ce courant secondaire correspond au primaire un courant :

$$J^{(m)}_p = 0{,}0089 . 2000 \text{ amp.} = 17{,}8 \text{ amp.}$$

D'une mesure faite précédemment avec le transformateur, il résulte que, si l'on enlève complètement les bobines secondaires, en faisant travailler le transformateur comme bobine de self-induction, le courant primaire sous 45 volts est

$$\tau = 13 \text{ amp.}$$

et le facteur de puissance

$$\cos \varphi = 0{,}5.$$

Si l'on trace le diagramme (fig. 9) on trouve pour le courant à vide et le facteur de puissance dans le dispositif de la fig. 2 les nombres

$$\sigma = 9{,}5 \text{ amp.}$$
$$\cos \varphi = 0{,}698.$$

Le courant est décalé en avant sur la tension.

Les valeurs directement mesurées sont (2e ligne du tableau)

$$J = 13{,}38 \text{ amp.}$$
$$\cos \varphi = 0{,}686.$$

Le courant est décalé en avant sur la tension.

La concordance, en tenant compte de la remarque précédemment faite, est satisfaisante.

Remarquons, en terminant, que l'enroulement secondaire du transformateur forme un circuit oscillant complet ; comme self-induction il y a la dispersion secondaire, et comme capacité, la capacité propre uniformément répartie.

Le transformateur conserve cette propriété même à circuit secondaire ouvert. Pour des transformateurs à forte capacité propre, il peut se produire facilement des états d'oscillations électriques ; on peut s'expliquer par ce fait la production fréquente de surtensions dans les essais d'isolement.

B. L.

TRANSMISSION & DISTRIBUTION

***Calcul des influences de la capacité, de l'induction et de la résistance dans les canalisations mono, di, ou triphasées aériennes ou souterraines.* — Ehnert.** — Zeitschrift fur Electrotechnik, 11 et 18 septembre 1904 (*Suite*)[1].

9e exemple. — Calculons la capacité d'une ligne triphasée placée aux sommets d'un triangle (fig. 13).

Si l'on considère le moment où le potentiel du fil A atteint son maximum, c'est-à-dire où

$$q_A = +1 . q$$
$$q_B = -0{,}5 q$$
$$q_C = -0{,}5 q$$

on a en posant

$$2 R \pi l m = q$$

$$V_A = 2\left(q_A \log_{nat}\frac{l}{R} + q_2 \log_{nat}\frac{l}{d} + q_3 \log_{nat}\frac{l}{d}\right)$$

$$V_A = q . 2\left(1 \log_{nat}\frac{l}{R} - 0{,}5 \log_{nat}\frac{l}{d} - 0{,}5 \log_{nat}\frac{l}{d}\right)$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 26 novembre 1904.

d'où

$$V_A = q . 2\left(\log_{nat}\frac{d}{R}\right) \tag{15}$$

et

$$C = \frac{1}{2 \log_{nat}\dfrac{d}{r}} \tag{16}$$

Les équations sont les mêmes pour les fils B et C.

10e exemple. — Dans les canalisations triphasées, on est souvent obligé de dédoubler chaque conducteur : nous supposerons que les 6 fils sont placés aux sommets d'un hexagone suivant la disposition de la fig. 14.

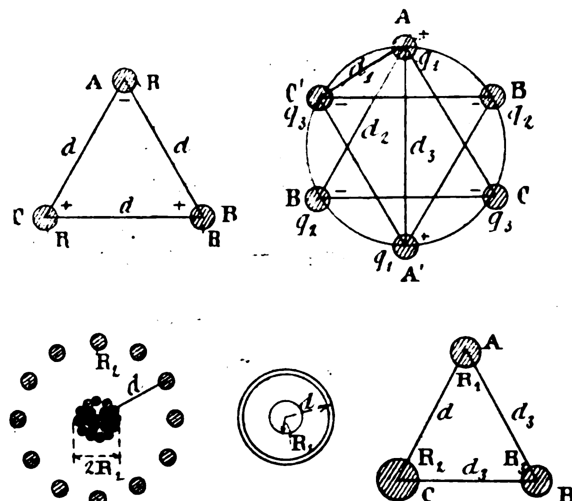


Fig. 13, 14, 15, 16, 17

En désignant de nouveau par q la charge $2\pi R l m$ d'un conducteur, on a

$$V_A = 2\left(q_1 \log_{nat}\frac{l}{R} + q_2 \log_{nat}\frac{l}{d_1} + q_3 \log_{nat}\frac{1}{d_2} + q_1 \log_{nat}\frac{l}{d_3} + q_2 \log_{nat}\frac{l}{d_2} + q_3 \log_{nat}\frac{l}{d_1}\right)$$

d'où

$$V_A = q . 2\left(-\log_{nat}\frac{l}{R} + 0{,}5 \log_{nat}\frac{l}{d_1} + 0{,}5 \log_{nat}\frac{l}{d_2} - 1 \log_{nat}\frac{l}{d_3} + 0{,}5 \log_{nat}\frac{l}{d_2} + 0{,}5 \log_{nat}\frac{l}{d_1}\right)$$

ou

$$V_A = q \log_{nat}\frac{d_1 d_2}{R d_3} \tag{17}$$

La capacité est alors

$$C = \frac{1}{\log_{nat}\dfrac{d_1 d_2}{R d_3}} \tag{18}$$

Posons $d_2 = 1,732\ d_1$, nous obtenons, pour $d_3 = 2d_1$

$$C = \frac{1}{\left(\log_{nat} \frac{d_1}{R}\right) + 0,718.} \qquad (19)$$

ou, si nous posons :

$$d_1 = \frac{d_3}{2},\ d_2 = 0,866\ d_3,$$

$$C = \frac{1}{\left(\log_{nat} \frac{d_2}{R}\right) + 0.146} \qquad (20)$$

11e exemple. — Etudions le cas d'un câble concentrique (fig. 15). Pour le potentiel du fil central, nous pouvons écrire :

$$V_1 = 2\pi R_1 lm \left(2 \log_{nat} \frac{1}{R_1} - n 2 \log_{nat} \frac{l}{d}\right)$$

en désignant par n le nombre des fils qui constituent le conducteur concentrique

Pour le potentiel d'un fil extérieur, on a :

$$V_2 = 2\pi R_2 lm \left(2 \log_{nat} \frac{1}{R_2} - 2 \log_{nat} \frac{1}{d}\right).$$

Admettons que les sections soient égales :

$$R_1^2 \pi = n R_2^2 \pi ;$$

nous pouvons remplacer R_2 par $\frac{R_2}{\sqrt{n}}$ et, en posant :

$$q_1 = 2\pi R_1 lm ,$$

nous obtenons

$$V_1 = q_1 \left(\log_{nat} \frac{1}{R_1^2} - \log_{nat} \frac{1}{d^2 n}\right) \qquad (21)$$

et

$$V_2 = \frac{q_1}{\sqrt{2}}\left(2 \log_{nat} \frac{\sqrt{n}}{R_1} - 2 \log_{nat} \frac{1}{d}\right) \frac{q_1}{\sqrt{2}} \log_{nat} \frac{d\sqrt{n}}{R_1} ; \qquad (22)$$

on trouve alors pour la capacité

$$C_1 = \frac{q_1}{V_1} = \frac{1}{2 \log_{nat} \frac{d^n}{R_1}} \qquad (23)$$

$$C_2 = \left(\frac{q_1}{\sqrt{2}}\right) \frac{1}{V_2} = \frac{1}{2 \log_{nat} \frac{d\sqrt{n}}{R_1}}. \qquad (24)$$

Pour n fils, C_1 reste le même, et C_2 devient :

$$C_2 = \frac{n.1}{2 \log_{nat} \frac{d\sqrt{n}}{R_1}} \qquad (25)$$

C_1 et C_2 sont montés en série : il faut trouver la capacité combinée C_{tot} d'après la relation suivante :

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} = 2 \log_{nat} \frac{d^n}{R_1} + \frac{2}{n} \log_{nat} \frac{d\sqrt{n}}{R_1}$$

$$= 2 \log_{nat} \frac{d^{\frac{n^2+1}{n}} . n^{\frac{1}{2n}}}{R_1^{\frac{n+1}{n}}} \qquad (26)$$

$$C_{tot} = \frac{1}{2 \log_{nat} \frac{d^{\frac{n^2+1}{n}} . n^{\frac{1}{2n}}}{R_1^{\frac{n+1}{n}}}}. \qquad (27)$$

Si l'on fait dans cette expression $n = \infty$, il vient :

$$C = \frac{1}{2 \log_{nat} \frac{d}{R}} \qquad (28)$$

qui représente la capacité d'un fil entouré d'un cylindre (fig. 16) avec des rayons d et R_1.

Si le conducteur central est constitué par un toron, le calcul ne doit pas être fait en partant de la relation $\sqrt{n}\ R_2 = R_1$, mais en partant de la formule de la section. Ordinairement les conducteurs extérieurs couvrent toute la surface du cylindre : si Q désigne la section de cuivre du fil ou du toron intérieur en $mm^2{}_1$, on peut trouver le nombre n des fils au moyen de l'égalité

$$n = \frac{d^2 \pi^3}{Q}.$$

12e exemple (fig. 17). — Calculons la capacité pour un système diphasé triangulaire dont le fil commun a un diamètre supérieur aux deux autres (généralement $\sqrt{2}$ fois plus gros).

Les conducteurs sont placés aux sommets d'un triangle. Le potentiel par rapport à A est :

$$\left.\begin{aligned} V_A &= (2\pi R_1 ml) 2 \left(\log_{nat} \frac{l}{R_1} \log_{nat} \frac{l}{d_3}\right) \\ &= q_1\ 2 \log_{nat} \frac{d_3}{R_1} \\ \text{et} \quad C_A &= \frac{1}{2 \log_{nat} \frac{d_3}{R_1}}. \end{aligned}\right\} \qquad (29)$$

Pour le conducteur de retour, on a

$$V_c = (2\,R_2\pi lm)\,2\left(\sqrt{2}\,\log_{nat}\frac{l}{R_2} - \frac{2}{\sqrt{2}}\log_{nat}\frac{l}{d_3}\right)$$

$$= q_1\sqrt{2}\,\log_{nat}\left(\frac{d_3}{R_2}\right)^2$$

$$C_c = q_1\sqrt{2} = \frac{1}{2\,\log_{nat}\frac{d_3}{R_2}} \quad (30)$$

De la relation

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_c},$$

on tire

$$C_{tot} + \frac{1}{2\,\log_{nat}\frac{d^{23}}{R_5\,R_2}} \quad (31)$$

Si l'on pose :

$$R_2{}^2\pi = R_3{}^2\pi\sqrt{2},$$

il vient :

$$C_{tot} = \frac{1}{4\,\log_{nat}\frac{d_3}{R_1} - 0{,}1733} \quad (32)$$

Les formules sont valables pour une constante diélectrique $\mu = 1$ (air). Pour des câbles, μ dépend de la nature de l'isolant et est égal à 2,22 pour le caoutchouc noir, et à 3 ou 4 pour la gutta-percha.

On cherche naturellement, dans la construction des câbles, à abaisser la valeur de μ autant que possible.

Lorsqu'on applique ces formules aux lignes aériennes, il est bon de majorer les capacités calculées de 20 à 30 °/₀ pour tenir compte de l'influence du terrain.

Pour empêcher l'action de l'humidité sur les isolants des câbles souterrains, on emploie habituellement des enveloppes de plomb. Il est nécessaire d'étudier si cette enveloppe a une influence considérable sur la capacité des câbles.

Soit A l'enveloppe (fig. 18). Supposons en B une masse chargée d'électricité positive : d'après les lois de Faraday sur l'influence électrique, il se produit sur les deux faces de l'enveloppe deux charges d'électricité de signe contraire.

La quantité d'électricité qui peut charger un condensateur est donnée par l'expression

$$q = CV \quad (33)$$

Dans cette formule, la capacité doit être exprimée en farads et le potentiel en volts, pour que q soit exprimé en coulombs.

Or $q = it$.

Le travail de l'énergie électrique dans un condensateur est

$$A = \frac{1}{2}qV = \frac{C}{2}V^2 = \frac{q^2}{2c} \quad (34)$$

(q en coulombs, V en volts, C en farads et A en watts seconde).

L'expression

$$q = CV = it$$

représente une surface (fig. 19) de hauteur i et de longueur $\omega = 2\pi\backsim$; si nous divisons la valeur précédente par le temps, nous obtenons le courant de charge en ampères.

$$J_L = \frac{CV}{\frac{1}{\omega}} = C_{fds}.V_{volts},\,2\pi\backsim \quad (35)$$

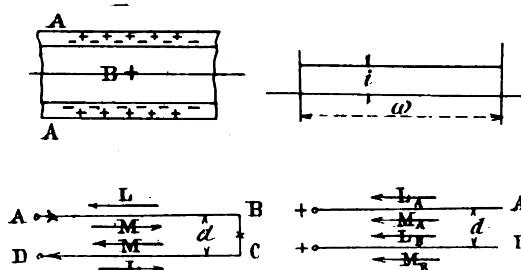


Fig. 18, 19, 20, 21

D'autre part, l'énergie de la décharge peut être tirée de l'expression :

$$P_k = \frac{A}{\frac{1}{\omega}} = \frac{C}{2}V^2\,2\pi\backsim \text{ wats} \quad (36)$$

La réactance de capacité est donnée par la formule

$$R_k = \frac{10^{-6}}{2\pi\backsim\,C_{mag}}\,x \quad (37)$$

où C_{mag} doit être exprimée en farads.

La différence de potentiel aux bornes de la capacité est :

$$e_{rk} = R_k\,10^6\,J_L \quad (38)$$

Cette réactance produit un décalage en avant du courant sur la tension. L'angle de décalage donné par l'expression :

$$\mathrm{tg}\,\varphi_{res.k} = \frac{R_k}{Wy} \quad (39)$$

Nous pouvons maintenant passer à l'établissement des

FORMULES SUR L'ACTION DE LA SELF-INDUCTION ET DE L'INDUCTION MUTUELLE

L'induction dans un circuit à courants alternatifs augmente la chute de tension et produit un décalage en arrière du courant sur la tension. L'action est opposée à celle de la tension.

L'unité pratique de capacité étant $C = 10^{-9}$ et celle d'induction 10^9, on a d'une façon générale

$$L = \frac{1}{C}. \qquad (41)$$

L'induction se compose des actions de conducteurs voisins les uns sur les autres, ou induction mutuelle, et de l'action du champ magnétique produit par le courant du conducteur sur le conducteur lui-même, ou self-induction.

Si les courants ont la direction ABCD (fig. 20), le courant de self-induction dans le conducteur AB, va de B vers A, et dans le conducteur CD, de D vers C; le courant dû à l'induction mutuelle va de A vers B ou de C vers D.

Le coefficient de self-induction pour un conducteur droit est :

$$L = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R} - 1 + \frac{\mu}{4}\right) \qquad (42)$$

et le coefficient d'induction mutuelle :

$$M = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R} - 1\right) \qquad (43)$$

1er Exemple. — Calculons le coefficient d'induction pour une ligne à courant alternatif. Soit d_{cms} la distance entre les deux conducteurs (fig. 20).

On a

$$L = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R} - 1 + \frac{\mu}{4}\right)$$

$$M = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d} - 1\right)$$

$$L' = L - M = 2l\left(\log_{nat}\frac{d}{R} + \frac{\mu}{4}\right)$$

L'action totale est :

$$L'' = L' + L' = 4l\left(\log_{nat}\frac{d}{R} + \frac{\mu}{4}\right) \text{cms} \qquad (44)$$

2e exemple. — Calculons le coefficient d'induction de deux fils parallèles reliés au même pôle (fig. 21).

$$L_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R} - 1 + \frac{\mu}{4}\right)$$

$$M_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d} - 1\right)$$

$$L'_A = L_A + M_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{4l^2}{dR} - 2 + \frac{\mu}{4}\right)$$

Pour B le coefficient a la même valeur.

Deux coefficients d'induction L_1 et L_2 de deux conducteurs de résistances W_1 et W_2 en parallèle, se composent en un seul donné par la formule :

$$L_{12} = \frac{W_2{}^2L_1 + W_1{}^2L_2}{W_1 + W_2} \qquad (45)$$

Si, dans un cas particulier $L_1 = L_2$ et $W_1 = W_2$, il vient :

$$L_{12} = \frac{L_1}{2} \text{ ou } \frac{L_2}{2} \qquad (46)$$

Dans notre cas :

$$L'_{AB} = \frac{L_A}{2} = \frac{L_B}{2} = l\left(\log_{nat}\frac{4l^2}{dR} - 2 + \frac{\mu}{4}\right) \qquad (47)$$

3e Exemple. — Dans un système monophasé, il est nécessaire de subdiviser la section des conducteurs, de sorte qu'il y a deux conducteurs en série (fig. 22).

$$L_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R} - 1 + \frac{\mu}{4}\right)$$

$$M_B = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_1} = 1\right)$$

$$M_C = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_3} - 1\right)$$

et

$$M_D = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_2} - 1\right)$$

La somme

$$L_A + M_B - M_C - M_D$$

donne

$$L'_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{d_2d_3}{d_1R} + \frac{\mu}{4}\right) = L'_B$$

De même

$$L'_C = L'_D = -2l\left(\log_{nat}\frac{d_2d_3}{R} + \frac{\mu}{4}\right)$$

L'_A et L'_B sont reliés en parallèle. Donc

$$L'_{AB} = \frac{L'_A}{2} = l\left(\log_{nat}\frac{d_2d_3}{d_1R} + \frac{\mu}{4}\right)$$

De même

$$L'_{CD} = \frac{L'_C}{2} = l\left(\log_{nat}\frac{d_2d_3}{d_1R} + \frac{\mu}{4}\right)$$

Les deux groupes sont en série, on a :

$$L'_{ABCD} = L'_{AB} + L'_{CD} = 2l\left(\log_{nat}\frac{d_2 d_3}{d_1 R} + \frac{\nu}{4}\right) \quad (48)$$

4e *Exemple.* — (Fig. 23.)
Coefficient d'une ligne triphasée.

$$L_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R} - 1 + \frac{\mu}{4}\right)$$

$$M_B = M_C = 2 . 0{,}5l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d} - 1\right)$$

$$L'_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{d}{R} + \frac{\mu}{4}\right) \quad (49)$$

5e *Exemple.* — Supposons qu'il soit nécessaire de subdiviser la section des conducteurs tripha-

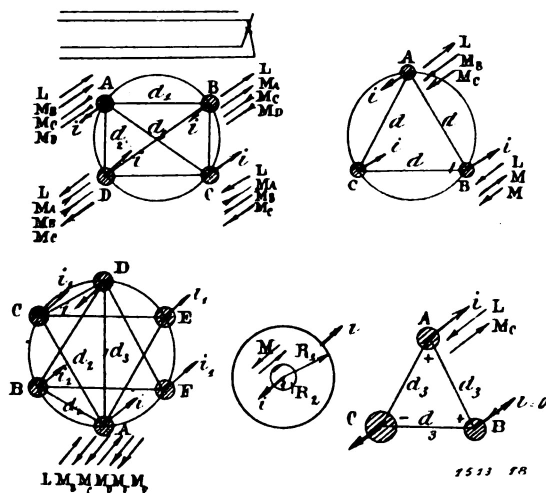


Fig. 22, 23, 24, 25, 26

sés, et que l'on ait affaire au système à 6 fils de la fig. 24.

$$L = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R} - 1 + \frac{\mu}{4}\right) . 1$$

$$M_B = -2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_1} - 1\right) 0{,}5$$

$$M_C = -2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_2} - 1\right) 0{,}5$$

$$M_D = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_3} - 1\right) . 1$$

$$M_E = -2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_2} - 1\right) . 0{,}5$$

$$M_F = -2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_1} - 1\right) 0{,}5$$

d'où

$$L'_A = 2l \log_{nat}\frac{d_1 d_2}{R d_3} + \frac{\mu}{4}\Big)$$

d'où finalement

$$L'_{AD} = l\left(\log_{nat}\frac{d_1 d_2}{d_3 R} + \frac{\mu}{4}\right) \quad (50)$$

6e *Exemple.* — Un conducteur de rayon R_3 est entouré par un conducteur concentrique relié à l'autre pôle (fig. 25).

On a :

$$L = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R_2} - 1 + \frac{\mu}{4}\right)$$

$$M = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R_1} - 1\right)$$

et

$$L - M = L' = 2l\left(\log_{nat}\frac{R_1}{R_2} + \frac{\mu}{4}\right) \quad (51)$$

7e *Exemple.* — Calculons le coefficient d'induction dans une ligne diphasée à 3 conducteurs, dont l'un a une section $\sqrt{2}$ fois plus forte (fig. 26).

$$L_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{R_1} - 1 + \frac{\mu}{4}\right)$$

Considérons le moment où le courant est nul dans le conducteur B :

$$M_c = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_3} - 1\right)$$

$$L_A - M_c = L'_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{d_3}{R} + \frac{\mu}{4}\right)$$

Pour C on a :

$$L_c = 2l \log_{nat}\left(\frac{2l}{R_2} - 1 + \frac{\mu}{4}\right)$$

$$M_A = 2l\left(\log_{nat}\frac{2l}{d_3} - 1\right)$$

d'où

$$L'_c = 2l\left(\log_{nat}\frac{d_3}{R_2} + \frac{\mu}{4}\right)$$

Les deux actions réunies donnent :

$$L'_{Ac} = L'_A + L'_c = 2l\left(\log_{nat}\frac{d^2_3}{R_1 R_2} + \frac{\mu}{4}\right) \quad (52)$$

Les formules donnent les coefficients d'induction en cm. : les résultats doivent être multipliés par 10^9 pour être exprimés en Henrys.

La réactance de l'induction est :

$$R_L = 2\pi\sim Lx \quad (53)$$

L étant exprimé en Henrys.

La tension de réactance est alors :

$$C_{rl} = R_L . J_{L\,tg} \text{ volts} \quad (54)$$

La réactance produit un décalage du courant en arrière de la tension. L'angle de décalage est donné par la formule

$$\operatorname{tg} \varphi_{resl.} = -\frac{R_L}{Wy} \quad (55)$$

Circuits avec capacité et induction

La capacité, la self-induction et l'induction mutuelle se composent en une action résultante que nous appellerons *réaction totale*. Celle-ci est donnée par l'équation :

$$R_{tot} = R_L - Rx \qquad (56)$$

La réaction totale produit un décalage donné par l'expression

$$\text{tg}\ \varphi_{tot} = \frac{R_{tot}}{Wy} \qquad (57)$$

La réaction totale produit une augmentation de la résistance ohmique des conducteurs. Celle-ci n'est plus

$$W = \frac{c_l}{g} x,$$

mais prend une valeur différente et devient une résistance apparente.

La résistance ohmique fait avec la réaction totale un angle de 90°. La résistance apparente ou impédance est donnée par l'hypothénuse du triangle (fig. 27)

$$\sqrt{R^2_{tot} + (W.y)^2} \qquad (58)$$

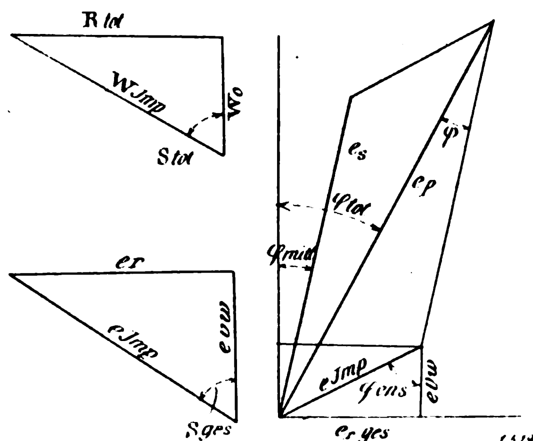


Fig. 27

La chute de tension ohmique est donnée par les formules des sections, et aussi par la formule

$$e_{v_w} = J_{Ltg}\, W.x. \qquad (59)$$

La f. e. m. nécessaire pour surmonter l'induction totale est donnée par l'expression :

$$J_{Ltg}\, R_{tot} = e_r. \qquad (60)$$

La force électrique de réaction est perpendiculaire à la chute ohmique (fig. 28). Finalement, la f. e. m. totale nécessaire pour surmonter l'induction et la résistance est

$$e_{imp} = \sqrt{e^2_r + e^2_{v_w}}. \qquad (61)$$

On a aussi

$$e_{imp} = J_{Ltg} \sqrt{R^2_{tot} + (Wy)^2} = J_{Ltg}\, W_{imp} \qquad (62)$$

La perte de tension dans la ligne est donnée par le diagramme de la fig. 23. On a

$$e_p = \sqrt{e^2_s + e^2_{imp} - 2e_s\, e_{imp} \cos(180 + \varphi_{moy} - \varphi_{ens})} \qquad (63)$$

L'angle ψ est donné par l'expression :

$$\cos\psi = \frac{e^2_s + e^2_p - e^2_{imp}}{2\, e_s\, e_p} \qquad (64)$$

Le facteur total de puissance de toute la transmission est donné par l'expression :

$$\cos\varphi_{tot} = \cos(\varphi_{moy} + \psi) \qquad (65)$$

Les phénomènes de charge ne se passent qu'à la surface du conducteur et ne pénétrent pas à l'intérieur. Dans les formules de la capacité il ne faut pas employer le rayon correspondant à la section du conducteur, mais un rayon fictif que l'on obtient en considérant la surface du conducteur.

Généralement, à partir de 25 mm² on emploie en pratique des torons en fils de cuivre. Si δ désigne le diamètre d'un fil et m le nombre des fils placés dans la couche supérieure, on a, pour la surface active, l'expression

$$\frac{\delta\pi}{2} . m$$

Cette surface active doit être égale à

$$\pi . 2 . r_m$$

d'où l'on tire, pour le rayon moyen, la valeur :

$$r_m = \frac{\delta . m}{4}. \qquad (66)$$

Les torons sont constitués généralement de la façon suivante :

1 fil au centre ;
6 fils sur la 1re couche :
12 fils sur la 2e couche, soit 19 fils.

Le tableau suivant donne les diamètres des différents fils :

Section en m/m²	Nombre de fils	Diamètre de chaque fil individuel en mm,	ρ en cm.
35	7	2,522	0,378
50	19	1,831	0,549
70	19	3,163	0,649
95	19	2,780	0,834

Application des formules aux exemples indiqués au début

Canalisations aériennes

a) Monophasées.

La capacité est :

$$C_{mag} = \frac{5000000}{4 \log_{nat} \frac{80}{0,834}} \cdot \frac{1}{9.10^5} \cdot \frac{1}{10^6} = \frac{30,44}{10^8} \text{ farads}$$

La quantité d'électricité pour la charge est :

$$q = \frac{30,44}{10^8} \cdot 15000 = \frac{411}{9.10^1} \text{ Coulombs}$$

Nous avons supposé un écartement de 80 cm. entre fils et une tension moyenne de 15000 volts.

La puissance de la capacité est :

$$A = \left(\frac{411}{9.10^1}\right)^2 \frac{1}{2 \cdot \frac{30,44}{10,8}} = 33 \text{ watts seconde}$$

Le courant de charge est :

$$J_L = \frac{30,44}{10^8} \cdot 15000\ (2\pi.50) = 1,434 \text{ amp.}$$

La réactance de la capacité est :

$$R_k = \frac{1.x}{(2.\pi.50)\left(\frac{30.44}{10^8}\right) 10^6} = R_k = 0,01045\ x$$

Comme la formule employée pour la détermination de la capacité se rapporte au cas de fils, nous devons remplacer x par 1 ; on a donc :

$$R_k = 0,01045.$$

L'énergie de la décharge est

$$P_k = 33.\ 2.\pi.50 = 10\,384 \text{ watts}$$

La faible capacité ne provoque qu'un petit décalage :

$$\varphi_{res.k} = 2'$$

La résistance d'un conducteur est

$$W = \frac{50000}{57.95} = 9.234 \text{ ohms}$$

$$L' = 4\ (5.10^6)\ (\log_{nat} 96 + 1/4) \text{ cm}$$

$$= \frac{9,63}{100} \text{ Henrys}$$

$\mu = 1$ puisque le diélectrique est de l'air.

La réactance due à l'induction est :

$$R_L = 314 \frac{9,63}{100} x = 30,25.1 = 30,25$$

On doit aussi remplacer x par 1 car la formule de L a été établie pour le cas de 2 conducteurs.

La f. e. m. de l'induction est

$$e_{rL} = 30,25.90 = 2722 \text{ volts}$$

où

$$J_{L\,tg} = 90 \text{ amp.}$$

La réaction totale

$$R_{tot} = 30,25 - 0,01 = 30,24$$

$$\text{tg}\ \varphi_{ens} = \frac{30,24}{9,234.\ y}$$

Dans cette formule, on doit remplacer y par la valeur 2, car la résistance totale est double.

On a donc

$$\text{tg}\ \varphi_{ens} = 1,638$$

$$\varphi_{ens} = 58°35'$$

$$W_{imp} = \sqrt{30,24^2 + (9,234.2)^2} = 35,42 \text{ ohms}$$

$$e_{v_w} = 90.\ 9,234.2 = 1662 \text{ volts}$$

$$e_{imp} = 90.\ 35,42 = 1662 \text{ volts}$$

La différence de potentiel primaire est donc :

$$e_p = \sqrt{14000^2 + 3188^2 - 2.14000.3188.\cos(180° + 36°52' - 58°35')} = 17003 \text{ volts}$$

$$\cos \psi = \frac{14000^2 + 17003^2 - 3188^2}{2.14000.17003} = 0,9979$$

$$\psi = 3°40'.$$

Le facteur de puissance total est donné par l'équation :

$$\cos \varphi_{tot} = \cos\ (36°,52' + 3°40') = 0,76$$

Si l'on voulait faire un calcul exact, il faudrait calculer le courant

$$J_n = \frac{P_s}{e_s \cos \varphi_{moy}}$$

et déduire le courant réel des conducteurs des valeurs de J_n et de J_L courant de charge.

$$J_{Lt} = \sqrt{J_L^2 + J_n^2}$$

Cette valeur diffère si peu de J_n que l'on peut sans inconvénient les confondre en pratique.

b) Diphasé.

La section des conducteurs extérieurs est 35 mm² et celle du conducteur commun $\sqrt{2}$ 35 = 50 mm².

$$C_{magn} = \frac{5000000}{2 \log_{nat} \frac{80^1}{0,378.0,549}} \cdot \frac{1}{9.10^5} \cdot \frac{1}{10^6}$$

$$= \frac{2,69}{10^7} \text{ farads}$$

$$R_k = \frac{10^{-6}}{314} \cdot \frac{10^7}{2,69} \cdot x$$

$$x = 1$$

$$R_k = \frac{1}{84,5} = 0,0118$$

$$W = \frac{50000}{35,37} = 25 \text{ ohms}$$

$$J_{l.tg} = \frac{1000000}{2.14000.0,8} = 44,64 \text{ ampères}$$

$$L' = 2.5000000 \left(\log_{nat} \frac{80^2}{0,378.0,549} + \frac{1}{2}\right) \frac{1}{10^9} = 0,0982 \text{ H.}$$

La réactance de l'induction est

$$R_L = 314.0,0982\, x = 30,86\ (x = 1)$$

$$e_{r_L} = 30,86.44,64 = 1377 \text{ volts}$$

La réaction totale

$$R_{tot} = 30,86 - 0,0118 = 30,35$$

$$\text{tg}\ \varphi_{ens} = \frac{30,85}{25\sqrt{2}}$$

$$\varphi_{ens} = 41°7'$$

La résistance afférente

$$W_{app} = \sqrt{30,85^2 + (25\sqrt{2})^2} = 46,66$$

$$e_{imp} = 44,64 \times 46,66 = 2082$$

La tension primaire est donc

$$e_p = \sqrt{14000^2 + 2082^2 + 2.14000.2082 \overline{\cos(180 + 36°52 - 41°07)}}$$

$$e_p = 16.077 \text{ volts}$$

$$\psi = 58'$$

$$\cos \varphi_{tot} = \cos 36°52' + 58' = 0,789$$

c) Triphasé.

Section des conducteurs 50 mm².

Courant par conducteur 51,62 ampères.

La capacité, tirée de la formule 16 est :

$$C_{mag} = \frac{5000000}{2 \log_{nat} \frac{d}{r}} \cdot \frac{1}{9.10^5} \cdot \frac{1}{10^6} = \frac{1}{18.10^5} \text{ farads}$$

$$\frac{d}{r} = \frac{80}{0,549}$$

Telle est la capacité pour une branche du réseau triphasé. La réactance de capacité est :

$$R_k = \frac{10^{-6}}{314 \frac{1}{18.10^5}} x$$

$$x = \sqrt{3}$$

$$R_k = 0,0099$$

$$W = \frac{50000}{50,57} = 17,54 \text{ ohms}$$

$$L = 2.5.10^6 \left(\log_{nat} \frac{d}{r} + 1/4\right) \frac{1}{10^9} \frac{5,23}{100} \text{ Henrys}$$

pour une branche.

La réactance est

$$R_L = 314 \frac{5,23}{100} x = 28,458$$

La réactance totale est

$$R_{tot} = 28,448$$

$$\text{tg}\ \varphi_{ens} = \frac{28,448}{17,74\, y}$$

$$y = \sqrt{3}$$

$$\text{tg}\ \varphi_{ens} = 0,9364$$

$$\varphi_{ens} = 43°7'$$

La résistance apparente d'une branche est :

$$W_{app} = \sqrt{28,448^2 + (17,54\sqrt{3})^2} = 41,62$$

La f. e. m. d'impédance est

$$e_{imp.} = 41,62 \,.\, 51,62 = 2148 \text{ volts}$$

La perte ohmique est

$$e_{v_w} = 51,62 \,.\, 17,54 \,.\, \sqrt{3} = 1568 \text{ volts}$$

La différence de potentiel primaire doit donc être

$$e_p = \sqrt{14000^2 + 2148^2 - 2.140\,000.\ 2148 \overline{\cos 1(80° + 36°52' - 43°7')}}$$

$$e_p = 16\,140 \text{ volts}$$

$$\cos \psi = \frac{14000^2 + 16140^2 - 2148^2}{2.14000\ .\ 16140}$$

$$\psi = 1°\,8'$$

$$\cos \varphi_{tot} = \cos (36'52' + 1°8') = 0,78801$$

Pour terminer, calculons le potentiel qui prend naissance lorsqu'un fil se rompt et, pour nous placer dans le cas le plus désavantageux, supposons que cette rupture se produise à l'extrémité de la ligne.

La capacité d'un fil est, d'après la formule 8, en supposant une section de 50 mm²

$$C = \frac{5000000}{2 \log_{nat} \frac{1}{0,549}} = \text{environ } 4.10^6 \text{ unités absolues}$$

Or, une quantité d'électricité d'environ

$$50,7\ .\ 10^5 \text{ unités absolues}$$

correspond à un potentiel de 18,5, qui produit une étincelle d'un cm. de longueur.

La capacité de 4.10^6 unités absolues est chargée par

$$15000 \frac{1}{300} = 50 \text{ unités absolues}$$

et contient une quantité d'électricité de

$$4.\ 10^6.\ 50 = 2\ 10^8 \text{ unités absolues}$$

Il en résulte un potentiel de

$$2.10^8 . \frac{18,5}{50,7.10^5} = 740 \text{ unités absolues}$$

correspondant à une longueur d'étincelle de

$$\frac{740}{18,5} = \text{environ } 40 \text{ cm}$$

B. L.

TRACTION

Nouvelles locomotives électriques du chemin de fer de la Yungfrau. (*Electrical Magazine*, 15 septembre 1904.)

Les locomotives électriques que nous allons décrire, et qui portent les numéros d'ordre 1, 2 et 6, ont été construites par Brown et Boveri ; elles diffèrent des autres locomotives, également en usage à la Yungfrau, mais sortant de chez Oerlikon et Cie.

1 et 2 sont de type identique. Le corps de chaque locomotive est supporté par des ressorts sur deux axes, indépendants des axes moteurs, ces derniers tournant dans des paliers fixés d'une façon rigide sur le truck.

Normalement, la machine est attelée à un wagon de voyageurs, dont l'avant repose directement sur elle, au moyen d'un dispositif d'attelage analogue, en principe, au joint universel. La locomotive, cependant, peut fonctionner seule, ou remorque des wagons. Trois freins, dont chacun a la force suffisante pour arrêter le train, assurent une sécurité complète. Deux d'entre eux sont ordinaires, à sabots, et commandés à la main.

Ils agissent sur les poulies droite et gauche des roues dentées, engrenant avec la crémaillère. Le troisième se compose d'un appareil à force centrifuge qui agit automatiquement sur le frein à bande de l'axe du moteur, et en même temps sur l'interrupteur, quand, pour une raison quelconque, la vitesse de la locomotive dépasse une limite donnée. Ce frein peut être également serré à la main, à tout moment, depuis la plateforme du conducteur ou des voyageurs. Un cliquet de sûreté est également prévu, qui empêche les roues dentées de quitter la crémaillère. Dans les longues descentes, où l'on n'a pas besoin de courant et où l'on ne se sert que des freins à main, ces freins sont refroidis par un dispositif spécial.

Chaque locomotive pèse 13 tonnes 8 et est équipée avec deux moteurs triphasés de 150 HP chacun dans les conditions normales de 500 volts, 760 tours par minute et 38 cycles. Ces deux moteurs sont complètement indépendants, chacun entraînant par engrenage une des roues dentées qui engrène avec la crémaillère. Le rapport total d'engrenage est, pour chaque moteur, de 11,5 à 1, le train d'engrenage étant divisé en deux trains de rapports 1 à 5,25 pour l'un, 1 à 2,22 pour l'autre. Les roues dentées ont un diamètre de 700 mm et tournent à 65 tours par minute ; leur effort total, exercé sur la crémaillère, atteint 9.000 kilog. La vitesse normale, en montée ou en descente, est de 8 km. 1 à l'heure. Les résistances de contrôle et de démarrage sont placées au-dessus des moteurs, auxquels elles sont fixées par des supports en fonte.

Le courant est pris par quatre trolleys, deux pour chaque phase, les rails servant de conducteurs à la troisième phase. Un ampèremètre, un parafoudre, quatre fusibles et un tachymètre complètent l'équipement électrique. Quand les connexions du moteur sont disposées pour la descente avec les induits en court-circuit, les moteurs deviennent générateurs, lorsque la vitesse atteint le synchronisme. Ainsi, l'énergie développée par le train retourne à la station, tandis qu'une vitesse constante est bientôt atteinte, égale à la vitesse de synchronisme.

Il y a cependant un sérieux inconvénient à ce dispositif. Si plusieurs trains descendent simultanément, la station génératrice peut, à un certain moment, recevoir plus d'énergie qu'elle n'en donne ; les turbines et les générateurs s'emballent et la vitesse des moteurs atteint une très dangereuse valeur. Pour éviter cela, des résistances sont prévues à la station génératrice pour absorber le surplus d'énergie.

La locomotive n° 6 est une locomotive nouvelle et d'un type original. Avant de servir à remorquer des trains de voyageurs, elle sert à débarrasser de ses décombres le tunnel que l'on achève en ce moment, et comme les trains ainsi composés pèsent environ 10 tonnes de plus que les trains de voyageurs, certaines parties de cette machine doivent être plus résistantes que dans les précédentes. Le poids total en est de 16 tonnes 8 et l'équipement électrique, du moins en ce qui concerne les moteurs, est semblable à celui des locomotives nos 1 et 2. La vitesse en montée est constante et d'environ

8 km 1. En descente, des dispositifs spéciaux permettent de retrancher toutes les connexions électriques; il est alors possible de régler la vitesse entre 8,1 km et 5 % de la vitesse maxima. MM. Brown-Boveri prétendent qu'aucune autre machine sur la ligne ne peut présenter autant de vitesses différentes dans de telles conditions.

Les moteurs sont spécialement équipés pour permettre de les faire travailler comme moteurs, ou comme générateurs asynchrones, à auto-excitation, quand ils descendent. L'induit porte trois bagues qui permettent l'insertion de résistances de démarrage, et un commutateur, dont les balais sont enlevés du circuit par un électro-aimant triphasé et un système de leviers, quand les moteurs sont alimentés par la ligne. Les résistances de démarrage peuvent aussi être utilisées comme résistances d'absorption, et sont construites pour absorber 170 kws., pendant un temps raisonnable. Un ventilateur refroidit ces résistances.

L. M.

Système électrique automatique de protection des trains. — The Electrical Magazine, 18 août 1904.

Le système que nous allons décrire a pour objet la protection, au moyen d'appareils électriques et automatiques, des trains en marche ou entrant en gare. L'appareil est actionné mécaniquement par la rotation de deux cames

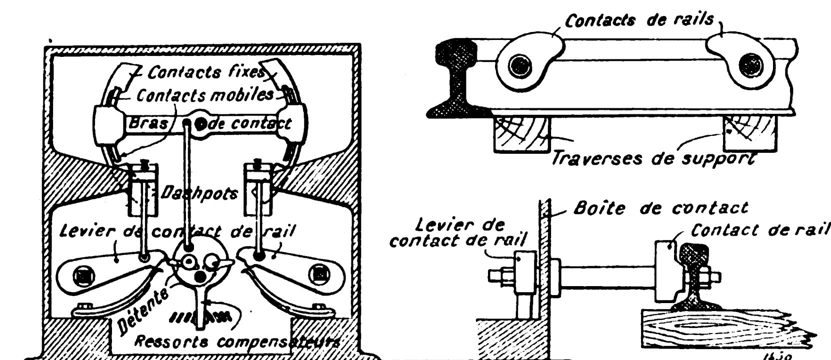


Fig. 1

faisant partie d'un dispositif de contact des rails; le mouvement de rotation est déterminé par les roues du train ou par un sabot fixé à la locomotive. La rotation de ces cames dans le sens de la marche du train produit l'ouverture et la fermeture de certains circuits reliant le contact avec des dispositifs électriques de telle façon que la position du dernier dépend du mouvement du train. L'appareil électrique agit sur un mécanisme destiné à donner des indications exactes et sûres sur chaque train en marche de sorte que tous les trains sont automatiquement protégés grâce à ces mouvements.

L'appareil ne nécessite point l'intervention de l'homme, et par conséquent, toute éventualité d'indications fausses est écartée.

Le contact des rails se compose de deux griffes fixées à deux axes; ces derniers s'appuient d'une part dans des trous percés dans le rail, de l'autre sur un support situé dans une boîte métallique contenant l'appareil complet d'ouverture ou fermeture du circuit. Aux endroits où le rail est affaibli par les trous des axes, on place deux traverses de plus. Les griffes entraînent dans leur rotation leurs axes lorsque les roues du train ou le sabot de la locomotive passent sur elles. Si le sabot, ou les roues agissent d'abord sur la griffe gauche, l'axe tourne, ainsi que le levier de contact que l'on voit sur la figure 1. L'extrémité de ce levier presse sur une détente, faisant ainsi tourner l'excentrique qui oblige la bielle de renvoi à imprimer au bras de contact un mouvement d'ascension à droite et de descente à gauche. Aux extrémités de ce bras sont fixés quatre contacts mobiles. Le groupe des deux contacts supérieurs, quand le levier est horizontal (position de repos) est en contact avec les plots fixes supérieurs, tandis que le groupe inférieur est hors circuit. Lorsque la roue, ou le sabot, de la locomotive passe sur la griffe droite, celle-ci fait tourner son axe et met en mouvement le levier de contact de rail correspondant, mais l'extrémité du levier n'aura pas d'action sur l'excentrique, car le levier gauche a déjà fonctionné et la détente, déjà levée, est hors de portée.

Lorsque le train a passé, l'excentrique retourne

à sa position normale grâce à des ressorts compensateurs, tandis que d'autres ressorts ramènent les leviers de contact à leur position initiale. Deux dashpots sont prévus pour ralentir le retour des cames et des leviers qu'elles commandent. L'excentrique ne bouge pas, quand les leviers reviennent en position, car les détentes ne fonctionnent que quand elles sont pressées de haut en bas; dans leur retour, les leviers les lèvent légèrement en passant, et c'est tout. Le contact du rail, en fermant certains circuits, agit sur un appareil (fig. 2) composé d'un électro-aimant bipolaire, entre les épanouissements duquel tourne une armature H, munie d'une poulie et d'une corde de commande. Cet appareil sert à déplacer la came du rail de la position horizontale à celle indiquée en pointillé.

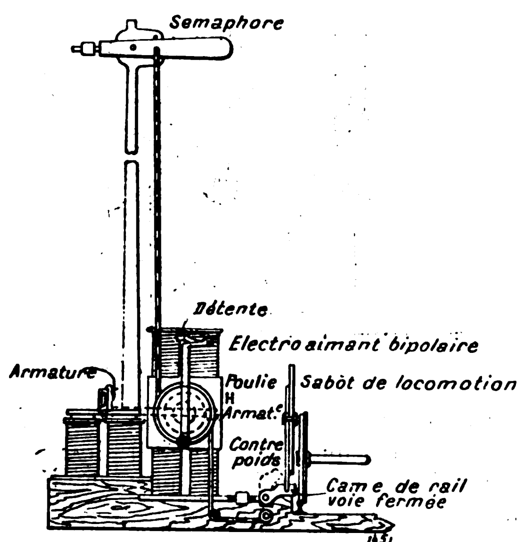


Fig. 2

Cette came est une des pièces les plus importantes de l'appareil, car c'est grâce à elle que l'état de la voie en avant du train est exactement indiqué au mécanicien de la locomotive.

Dans la position horizontale, cette came arrête le train en ouvrant le robinet de frein Westinghouse ou le sifflet de la locomotive; dans la position verticale, elle ne signale rien et le train peut continuer sa course en toute sécurité.

La poulie a une saillie commandant une came; lorsque les mouvements de l'appareil de contact ferment les circuits de l'électro-aimant et de son armature (le contrepoids étant abaissé), l'armature tourne de 90 degrés, entraînant la poulie et la came. La came, dans sa rotation vers la gauche, grâce à la flexibilité de son mode d'attache, passe sous un crochet de l'électro-aimant et s'arrête dans cette position. Le crochet n'est souvent qu'un prolongement de l'armature de l'électro-aimant, dont le circuit reste fermé en temps normal, au moyen d'un dispositif de contact.

Considérons maintenant une position (voie fermée) pour laquelle le mouvement des leviers du dispositif de contact ouvre le circuit de l'électro-aimant. Quand le circuit est ouvert par la boite de contact, la pièce aimantée, n'est plus attirée, et, remontant par l'effet d'un contrepoids placé à son autre extrémité (fig. 2), elle permet à la came de se redresser aussi, lorsque le contrepoids, l'armature H, et la poulie retournent à leur position primitive; la corde et la chaine relâchent la came du rail qui retombe par son propre poids à la position : voie fermée.

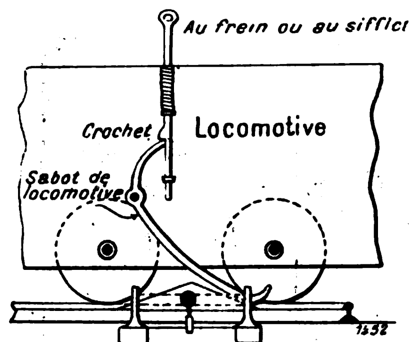


Fig. 3

Pour indiquer au mécanicien qu'il doit arrêter sa machine avant d'atteindre l'appareil de la fig. 2, la poulie, au moyen d'une chaine, manœuvre un sémaphore visible à grande distance. Le sémaphore prend une position correspondant à celle de la came du rail, c'est-à-dire qu'il est vertical pour la voie libre, et horizontal pour la voie fermée.

La came du rail se place horizontalement, soit par suite d'une interruption momentanée de courant (montrant que la voie est fermée), soit par suite d'un manque total de courant.

Pour être fixé, il suffit d'observer le plateau signal de la fig. 4. Si le plateau est vertical, la voie est bloquée, s'il est horizontal, c'est que le courant est interrompu. Dans ce dernier cas, le mécanicien peut avec précautions continuer sa route jusqu'à la prochaine station.

La fig. 4 montre le mécanisme qui amène le

plateau signal dans la position verticale. Le plateau est fixé à un petit mouvement de sonnette, et oscillant librement, un petit arbre repose sur l'extrémité de l'armature de l'aimant. Le mouvement de cette dernière amène le signal à sa position.

Le dispositif de contact du rail que nous venons de décrire, n'actionne pas seulement cet appareil, mais il agit aussi sur un autre dispositif électrique destiné à être placé aux stations. Grâce à ce dernier appareil, il est absolument impossible à qui que ce soit de laisser le train

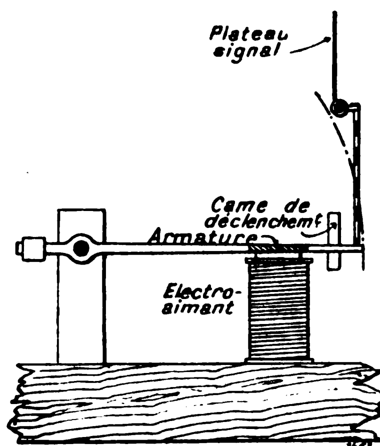


Fig. 4

quitter la station avant que la voie ne soit entièrement libre.

Cet appareil se compose (fig. 6) de 4 disques de métal, clavetés sur quatre axes parallèles, chacun d'eux ayant une petite roue d'échappement. Chaque fois qu'une dent de la roue à rochet est passée, le disque monté sur le même axe, tourne d'un angle déterminé et constant. Les disques empiètent l'un sur l'autre et sont dans des plans différents. Chaque disque a des trous numérotés consécutivement et correspondant aux dents de la roue à rochet. Ces trous sont disposés de telle façon que, par exemple, ceux des disques supérieurs ne coïncident pas avec ceux des disques inférieurs tant qu'ils ne sont pas superposés de telle sorte que les trous de même ordre coïncident. A chaque roue à rochet appartient un cliquet relié à l'armature d'un électro-aimant, appelé l'aimant de disques. Cette armature est attirée quand le circuit de l'électro-aimant est fermé par le dispositif de contact du rail. Cela oblige le cliquet à reculer sur la roue à rochet et à engrener avec la dent suivante. Quand le courant est coupé, l'armature revient à sa position initiale par l'effet d'un ressort puissant, faisant avancer le cliquet et la roue à rochet d'une longueur correspondant à un trou et un numéro.

Dans la boîte contenant les quatre disques, et dans un espace (indiqué par 2 parallèles en pointillé en haut de la fig. 6), sont disposés trois contacts fixes, et, en face d'eux, deux contacts

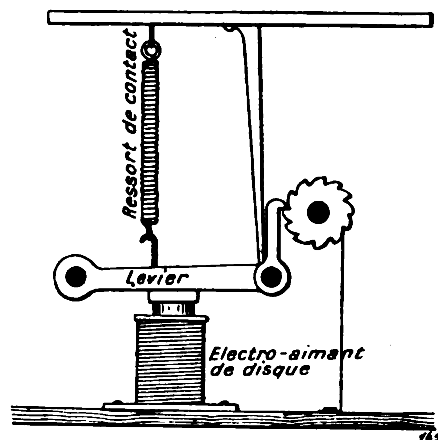


Fig. 5

mobiles ou ponts. Les contacts fixes font partie d'un circuit de came de rail (fig. 2) situé exactement à l'endroit où la ligne quitte la station, pour indiquer que la voie est libre.

Le circuit n'est fermé que quand les deux contacts supérieurs viennent simultanément en contact avec ceux d'en dessous et les contacts supérieurs ne sont fermés que quand deux fiches sont poussées dans les trous des deux jeux de disques et viennent appliquer les ponts sur les contacts fixes de la boîte. Deux ressorts à boudin placés sur chacune des deux fiches, les dégagent des trous sitôt que la pression exercée sur eux diminue. Les deux fiches sont supportées par deux longs guides, qui assurent un bon alignement entre les fiches et les trous des disques.

Pour éviter que la came de rail placée près des stations ne supprime la voie libre au moment où le train quitte la station suivante, le levier indiqué sur la fig. 5 coupe, au moyen de deux contacts fonctionnant simultanément, le circuit de l'électro-aimant (fig. 2). Les aimants de disque peuvent être à même de fonctionner avec un circuit normalement fermé, et dans ce cas si le courant manque, les leviers relâchés (fig. 5) coupent le circuit de l'électro-aimant (fig. 2), empê-

chant ainsi le signal ou la came de rail de rester à voie libre. Le déplacement de ce levier ferme un circuit de sonnette local, qui annonce ainsi l'interruption de courant.

Là où les trains marchent toujours dans la

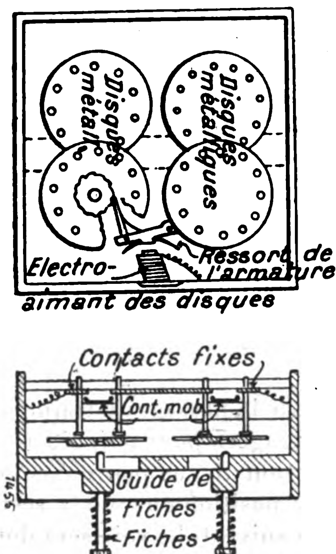


Fig. 6

même direction sur chaque voie d'une double ligne, les disques dans chaque boîte se réduisent à deux.

En circuit avec la boîte de contact de rail, on a disposé un appareil enregistreur (fig. 7), comprenant un rouleau de papier, mû par un mouvement d'horlogerie, et sur lequel sont placées plusieurs pointes aimantées. Elles sont en circuit avec le dispositif des contacts de rail, et quand un train franchit l'un ou l'autre de ces contacts, la plume correspondante fait un signe sur la carte qui est divisée en intervalles de 5 minutes.

Comme chaque plume marque le moment du

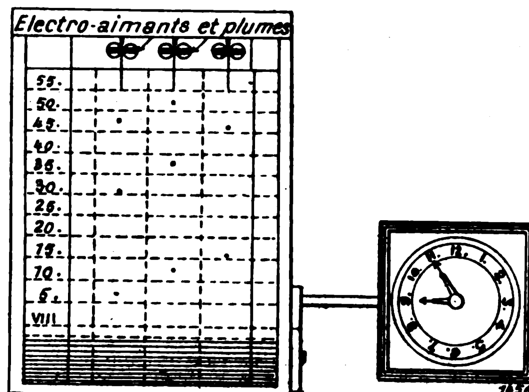


Fig. 7

passage d'un train sur un contact, et que la distance entre les contacts successifs est connue, on peut calculer la vitesse à laquelle le train parcourt la distance séparant deux contacts successifs, et, en outre, on sait entre quels contacts le train peut se retrouver, s'il a dû s'arrêter pour un motif quelconque.

La figure 8 donne un schéma des connexions

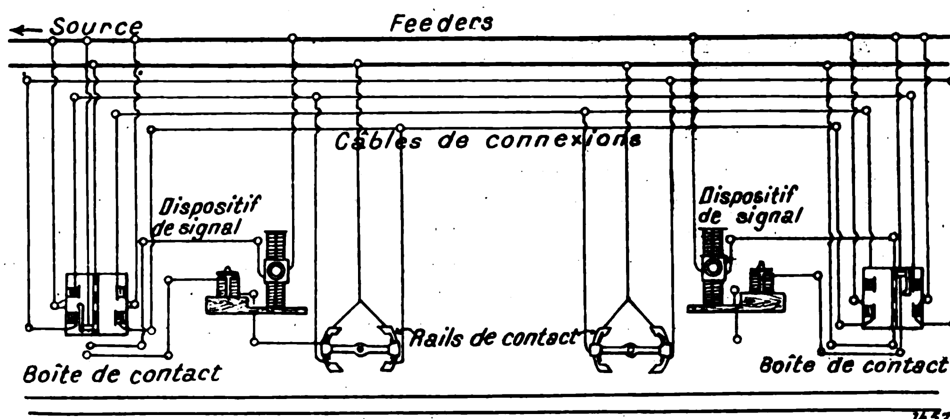


Fig. 8

principales pour deux stations, et, après avoir décrit les différents appareils, il est intéressant de s'occuper de leur application pratique au point de vue de la protection contre les accidents de chemin de fer, à commencer par les plus dangereux, c'est-à-dire la collision de deux trains voyageant en sens contraire sur la même voie.

On verra que par l'addition de l'appareil décrit, il est non seulement impossible que la collision ait lieu, mais encore que deux trains marchent

en sens inverse sur la même ligne en même temps.

Lorsque l'appareil est mis en marche pour la première fois, il faut d'abord s'assurer que la ligne est débarrassée de train. Sur le schéma, la boite de contact, le signal, et les contacts de rails pour une station sont indiqués sur la gauche, et les appareils correspondant d'une autre station, sur la droite. Appelons A la station de gauche, B, celle de droite.

Pour permettre à un train de quitter A, la came du rail du dispositif de signal doit être levée à la position de « voie libre » et cela s'obtient par l'insertion des fiches dans les trous de la boite de contact et la fermeture du circuit de l'électro-aimant bipolaire (fig. 2).

L'armature tout d'abord tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre, le sémaphore est abaissé, et la came du rail levée. Lorsque le train franchit les contacts du rail, les circuits de disques aux stations A et B sont d'abord fermés,

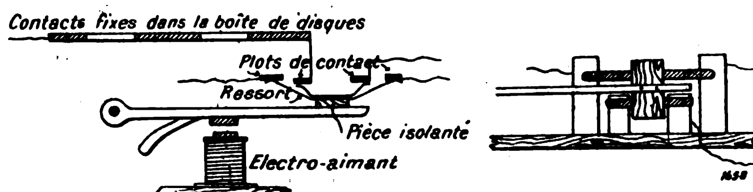


Fig. 9

puis ensuite ouverts (lorsque le train franchit le second contact) et les disques dans les boites se sont avancés d'un trou.

Le circuit de l'aimant, fermé en temps normal, sera également ouvert et la détente du rail, à la station A, ainsi que le sémaphore, retourneront à la position « voie fermée », pour protéger le train à son passage sur la section vers la station B. Les trous des disques des boites de contact, aux deux stations A et B, ne coïncident plus dans leur mouvement en avant, en raison de l'impulsion donnée par le passage du train, et les fiches auparavant engagées pour permettre au train de quitter la station A, ne peuvent conserver plus longtemps la position ouvrant la section considérée au train suivant. La voie sera donc bloquée jusqu'à ce que le train atteigne le dispositif de contact à quelque distance de la station B. En passant sur ce contact, les aimants de disques fonctionneront de nouveau aux deux stations, et les trous des disques seront amenés à une position permettant l'introduction des fiches et la ferme-

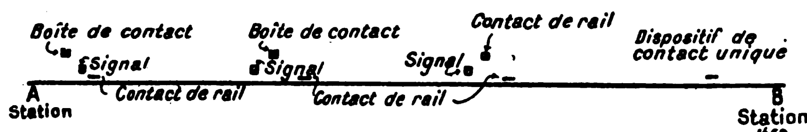


Fig. 10

ture des circuits comme précédemment pour la libre circulation d'un train. Il faut signaler que dans chaque boite de contact, il y a un dispositif spécial prévu pour mouvoir un signal donnant la « voie libre » au moment précis où un train passe sur le contact à la station de départ. Ce dispositif, représenté fig. 9, comprend, à l'extrémité de l'armature, un système isolé de ressort de contact.

Ces ressorts reposent sur les plots de contact en circuit avec l'aimant, et lorsque l'armature est attirée par l'aimant, les circuits de l'aimant ne sont ouverts que lorsque le signal et la came du rail indiquent la « voie libre ».

Quand deux ou plusieurs trains doivent circuler sur la même section en se suivant les uns les autres, la section est pourvue de plusieurs contacts de rails et de signaux.

La fig. 10 représente schématiquement le dispositif nécessaire en ce cas. Un train quittant la station A passe sur le 1[er] contact de rail, ferme la voie derrière lui et signale « voie fermée » en arrière. Jusqu'à ce que le train ait passé le second contact, un deuxième train ne peut démarrer, et si le premier train s'arrête en route. les signaux arrière le protégent. La même succession d'opérations se répète pour les autres sections.

Le système peut être employé avec succès, sans les boites de contact, les trains se protégeant et se signalant automatiquement lorsqu'ils sont dans leurs sections et quand ils les quittent.

L. M.

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

***Télégraphie sans fil. — Cohéreur à oxyde chaud.* — Max Hornemann.** — Annalen der Physik, 1904, p. 129.

Le cohéreur chaud à oxyde (fig. 1) est constitué par une feuille de cuivre *m* (dimensions 0,5 mm. d'épaisseur, 5 cm. de largeur et 10 cm. de longueur) qui peut être chauffée par la flamme 0 et porte la bande de plomb recourbée *l* (1 mm. d'épaisseur, 1 cm. de largeur, 10 cm. de longueur) terminée par un bec pointu K de manière que le contact avec le cuivre soit réduit, autant que possible, à un point.

La bande de plomb est reliée au pôle négatif d'un élément de faible force électromotrice. Entre le pôle positif et la bande de cuivre, on intercale un téléphone ou un galvanomètre.

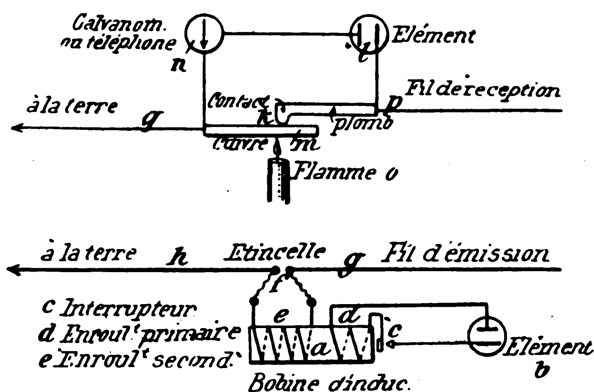


Fig. 1

Pour employer l'appareil, on chauffe la plaque de cuivre, pendant que la bande de plomb est soulevée, jusqu'à ce qu'il se produise sur sa surface une mince couche d'oxyde de cuivre noir. Ensuite on éloigne la flamme et, quand la plaque est refroidie, on place la bande de plomb sur la surface oxydée. La couche d'oxyde ne laisse passer à froid aucun courant, et l'aiguille du galvanomètre ne bouge pas, ou est à peine déviée. Si l'on chauffe à nouveau la feuille de cuivre, il passe un peu de courant : on règle la flamme sous la plaque pour que l'aiguille du galvanomètre ait une déviation de 20 à 60°.

Si l'on fait éclater à proximité de petites étincelles, l'aiguille revient en moyenne de 8° en arrière et reste là pendant la durée de la radiation. Quand celle-ci cesse, l'aiguille revient d'elle-même à sa position.

Pour des ébranlements électriques trop intenses (trop fortes étincelles) l'appareil agit comme un cohéreur de Branly : l'aiguille a brusquement une déviation maxima et ne revient à sa place primitive que sous l'effet d'un choc.

Le phénomène est le même quand on intervertit la connexion de l'appareil, c'est-à-dire lorsqu'on relie le pôle positif à la bande de plomb.

Si l'on remplace le galvanomètre par un téléphone, on n'a pas besoin de prendre tant de précautions.

Le phénomène peut être expliqué en se basant sur la f. e. m. du courant thermo-électrique. La radiation électrique affaiblit probablement la f. e. m. du courant thermo-électrique opposé à la f. e. m. du courant de la pile.

R. V.

Nouveau dispositif Stone. — **Electrical World and Engineer, 3 septembre.**

Si l'on dispose 3 conducteurs verticaux de façon que les deux conducteurs extrêmes soient symétriques par rapport au conducteur intermédiaire, et si l'on produit dans celui-ci des oscillations électriques, les deux autres sont sièges d'oscillations égales en amplitude et en phase. Si l'on fait agir ces oscillations sur un appareil récepteur placé entre les deux conducteurs, l'action est nulle.

Stone a utilisé cette propriété pour réaliser un poste de télégraphie sans fil capable de transmettre et de recevoir en même temps.

R. V.

Système syntonique Pupin. — **Electrical World and Engineer, 3 septembre.**

L'inventeur emploie comme récepteur un monotéléphone dont la membrane ne répond qu'aux oscillations d'une période déterminée, et reste immobile sous l'action d'impulsions magnétiques de périodes différentes.

Au transmetteur, la vitesse de rotation de l'alternateur est réglée pour la fréquence correspondant à la période du téléphone récepteur, et l'éclateur est disposé de manière que les étincelles ne jaillissent qu'à chaque maximum de la tension. Une clé morse placée sur le circuit transmetteur sert à faire varier la durée des impulsions.

R. V.

Nouveau récepteur pour la télégraphie. — **The Electrical Review (9 août).**

Ce récepteur repose sur le principe de la variation de la tension superficielle entre du mercure et de l'acide sulfurique étendu sous l'influence de différences de potentiel. La figure 1 représente la coupe verticale de l'appareil : T est un tube à

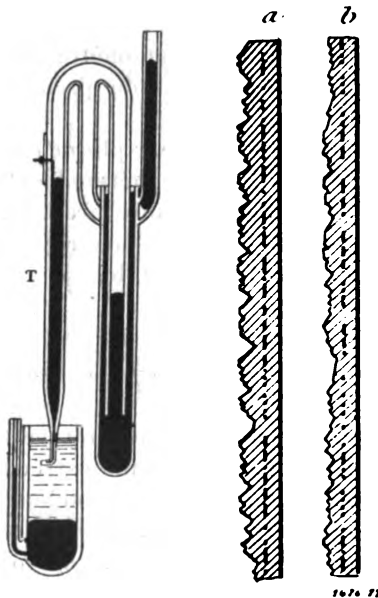


Fig. 1

mercure dont l'extrémité inférieure ouverte capillaire est recourbée horizontalement et plonge dans un récipient contenant de l'acide sulfurique étendu. Au fond de ce récipient est placé du mercure qui assure la jonction électrique. Le courant est amené au mercure par un fil de platine soudé dans le verre. Le reste du dispositif sert à régler le niveau du mercure dans le tube de verre T, de façon que la surface de séparation entre le mercure et l'acide sulfurique étendu soit placée au milieu de la partie horizontale du tube capillaire. Dès qu'il se produit une différence de potentiel entre le mercure et l'électrolyte, la surface de séparation change de place ; d'après le sens du courant, elle s'approche ou s'écarte de l'extrémité du tube capillaire : Quand la différence de potentiel cesse, elle revient très exactement à sa place primitive. Il est clair que l'on peut employer cet appareil à la réception de signaux Morse. Il suffit de projeter sur une pellicule sensible, au moyen d'un appareil, l'image agrandie du fil de mercure qui s'allonge ou se raccourcit. La figure 2 donne une idée des images obtenues. Comme on le voit, les signaux sont extrêmement nets, facilement lisibles, et préférables à ceux du siphon recorder.

Dans l'emploi pratique, il ne passe aucun courant sur l'appareil ; son fonctionnement doit être expliqué plutôt par la polarisation à la surface de l'électrolyte. Pour cela, il suffit d'une quantité d'énergie extraordinairement faible (par exemple 1/3 de volt pour une distance d'un mégohm). La très grande sensibilité rend cet appareil précieux pour la télégraphie par câbles. Il permet de communiquer avec une vitesse deux fois plus grande sur les câbles transatlantiques et permet d'envoyer 360 mots à la minute sur des lignes continentales de grande longueur, en partie aériennes et en partie souterraines. Il peut aussi servir de récepteur en télégraphie sans fil, si on le branche en série avec un cohéreur ordinaire. Comme exemple de sa sensibilité, on peut indiquer l'expérience suivante : si l'on place un diapason devant un téléphone relié au récepteur, ce dernier enregistre toutes les vibrations du diapason.

B. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

CONGRÈS ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONAL DE SAINT-LOUIS

***Transport de force et distribution dans les chemins de fer à courant alternatif.* Lincoln.**

Un inconvénient du système monophasé est que, pour une même tension entre fils, le poids de cuivre nécessaire est, en comparaison de celui que nécessite le système à courants triphasés, dans le rapport 4/3.

Pour une même tension par rapport à la terre, les deux systèmes sont équivalents. Comme les générateurs polyphasés sont environ 30 % meilleur marché que les générateurs monophasés, il est préférable d'employer les premiers et de répar-

tir le choix autant que possible sur toutes les phases.

L'auteur montre, en concluant, qu'il est impossible d'établir une règle générale pour le calcul de la section du conducteur, ainsi que pour l'écartement et le dimensionnement des transformateurs.

O. A.

Système d'éclairage des trains employé en Prusse.

Dans ce système, la constance de la différence de potentiel est assurée par une résistance ballast en fer placée dans une ampoule contenant de l'hydrogène. Pour des variations de la tension de 56 à 86 volts, le courant dans le circuit des lampes ne varie que de 8,0 à 8,7 ampères. Le générateur employé est une turbine.dynamo de 20 chevaux placée sur la chaudière de la locomotive. Dans certains cas, on a réussi à commander la dynamo par un essieu de voiture. La batterie d'accumulateurs sert seulement de réserve. Les disjoncteurs automatiques à minima, qui coupent le circuit lorsque la différence de potentiel aux bornes de la dynamo tombe au-dessous d'une certaine valeur, ont donné lieu à des difficultés et ont été remplacés par des sortes de soupapes électrolytiques constituées par des électrodes en fer et en aluminium.

Quand le sens de rotation de la dynamo change, les balais sont décalés automatiquement sur le collecteur. La dynamo seulement porte quelques tours d'enroulement inducteur série, pour que le champ diminue quand le courant augmente.

O. A.

***Moteurs à courant alternatif.* Steinmetz.**

L'auteur, s'appuyant sur une étude mathématique, décrit les propriétés des moteurs à courant alternatif de toutes sortes.

Le moteur alternatif à collecteur a deux systèmes inducteurs et un induit sur le collecteur duquel frottent deux paires de balais. L'auteur montre que, parmi tous les moteurs alternatifs, c'est le moteur à répulsion qui a le plus grand couple de démarrage et que, dans ce moteur, la puissance et le couple tombent rapidement quand la vitesse augmente. Ces deux grandeurs deviennent nulles pour une certaine vitesse limite. Le moteur série monophasé présente une chute beaucoup plus faible du couple quand la vitesse augmente, et on peut le désigner comme ayant un couple constant. Le moteur compensé tient le milieu entre les deux moteurs précédents : il offre les avantages du premier aux faibles vitesses et les avantages du second quand la vitesse croît. En somme, le moteur à répulsion est avantageux pour de faibles vitesses, le moteur série pour de fortes vitesses, et le moteur compensé pour des vitesses intermédiaires.

O. A.

***Expériences pratiques sur le système Pupin appliqué aux lignes téléphoniques.* Hayes.**

On a montré mathématiquement qu'il est possible de supprimer l'amortissement d'une ligne en employant plusieurs bobines Pupin dans une longueur d'onde. L'écartement des bobines dépend de la fréquence la plus élevée des courants à transmettre. Le système Pupin est très avanta- geux à cause de la facilité avec laquelle les bobines peuvent être intercalées dans les câbles; il donne de moins bons résultats pour les lignes aériennes.

Par suite de la self-induction élevée et de la faible capacité, la diminution de l'amortissement n'a pas d'importance.

L'auteur conclut que l'emploi du système Pupin dans ce dernier cas est inutile, tandis qu'il peut rendre de grands services dans le cas de transmission par câbles.

E. B.

***Sur le calcul d'isolateurs à haute tension.* Ryan.**

Pour pouvoir établir un projet d'isolateur à haute tension, il faut connaître :

1° Une méthode pour déterminer la force électrique qui se produit dans un diélectrique sous l'effet d'une force électromotrice.

2° La résistance que le diélectrique oppose au passage de l'électricité.

3° La densité du flux de force électrique qui cause la rupture du diélectique.

4° Les moyens propres à faire porter l'effort de rupture sur les parties les plus résistantes de l'isolateur.

5° Les méthodes expérimentales pour la détermination de la rupture des diélectriques et pour l'épreuve des isolateurs terminés.

6° Les coefficients de sécurité.

L'auteur discute ces points un à un et en conclut que le calcul théorique des isolateurs présente de grandes difficultés.

E. B.

Discussion sur les transports de force à distance.

Bignami cite des usines suisses dans lesquelles on trouve des facteurs de puissance de 50 % et plus. En Amérique, on trouve généralement 30 %. La tension par mille atteint en moyenne 500 à 600 volts en Suisse et 600 à 850 en Amérique.

Peek parle des transformateurs et pense que les transformateurs dans l'huile n'offrent pas de danger d'incendie, puisque la température d'inflammation de l'huile est assez élevée.

Blackwell n'est pas de cet avis et préconise les transformateurs à air avec cloisonnements en amiante. Cet auteur parle de la grande économie que l'on trouve à construire des transformateurs ayant un rendement légèrement réduit. Les frais de construction s'abaissent à la moitié de leur valeur primitive quand on adopte comme valeur du rendement 96 % au lieu de 99 %. Il est avantageux de munir de côtes les parois intérieures des caisses à huile. La fabrication d'une bonne huile à transformateurs offre des difficultés : il est nécessaire d'expurger de l'huile toute trace d'humidité au moyen de serpentins à vapeur.

Baum, qui a l'expérience du courant à haute tension d'environ 120 km. de la California Gas et Electric C°, trouve avantageux d'employer de très hautes tensions (dépassant 60.000 volts), sur les lignes d'une longueur de 80 km.. parce que les coups de foudre et les phénomènes oscillatoires sont moins sensibles. La tension des oscillations auxquelles donne naissance une rupture brusque est environ égale à 200 fois le courant interrompu et est, par conséquent, d'autant moins élevée que que la différence de potentiel est plus considérable.

La distance explosive d'un parafoudre à cornes pour 60.000 volts est d'environ 10 à 11 cm. entre un fil et la terre.

En Californie, les parafoudres à cornes ont donné de bien meilleurs résultats que les parafoudres à plusieurs coupures. Baum pense qu'il est facile de construire des interrupteurs pour 100.000 volts. La tension n'est limitée que par la valeur des isolateurs.

H.-W. Buck parle de l'aluminium comme métal à employer dans les conducteurs et de la pression sur les lignes aériennes.

Converse décrit le développement des isolateurs à haute tension. Les types les plus nouveaux pour 60.000 volts ont un diamètre de 38 cm. et un poids dépassant 11 kgs.

Scott fait remarquer que les frais occasionnés par les isolateurs sont négligeables vis à vis des autres frais et ne sont que les 2 % des frais fixés par kilowatt.

Perrine décrit un isolateur à haute tension à 3 cloches recourbées de telle manière que tous les points d'une surface, dans un plan donné, sont à égale distance des bords de la cloche voisine.

B. L.

(A suivre).

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant: A. BONNET.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'USURE DES TURBINES

Depuis 1896, la ville de Neuchâtel utilise l'énergie de la Reuse descendant en pente rapide du Val de Travers au lac. En aval des usines desservant le réseau du Locle et de La Chaux-de-Fonds, elle a créé artificiellement une chute de 56 mètres en captant l'eau et en l'amenant à l'usine par un tunnel de 1600 mètres. Le débit de la Reuse est assez réduit — 1500 litres environ à la seconde — et l'inévitable développement du service a obligé les usines à installer des moteurs à vapeur.

Ayant atteint le maximum de puissance à l'usine hydraulique des Clées, la ville de Neuchâtel a créé une usine à vapeur dans la ville même, au bord du lac et y a groupé les transformateurs rotatifs destinés à la distribution urbaine.

Nous reviendrons ultérieurement sur l'usine à vapeur de Neuchâtel qui sera terminée dans quelques mois.

L'usine des Clées, en marche depuis 8 ans, avait, au début, six groupes de 300 chevaux ; elle en possède 9 actuellement.

Des descriptions ont été déjà publiées et il est d'ailleurs probable qu'au point de vue électrique, les unités qu'elle possède ne seraient plus construites aujourd'hui, par les maisons qui les ont livrées.

Les progrès de l'industrie électrique, surtout dans la technique des courants alternatifs, ont été tellement rapides en ces dernières années, qu'en très peu de temps un type de machine est devenu presqu'une antiquité !

**

Mais les turbines nous ont particulièrement intéressé parce que les roues motrices sont à peu près intactes malgré leur long fonctionnement, presqu'ininterrompu, et malgré les sables qui chargent l'eau.

Cela tient à ce que la turbine centrifuge est à injection partielle par deux séries d'orifices directeurs disposés dans deux quadrants opposés sur un diamètre horizontal.

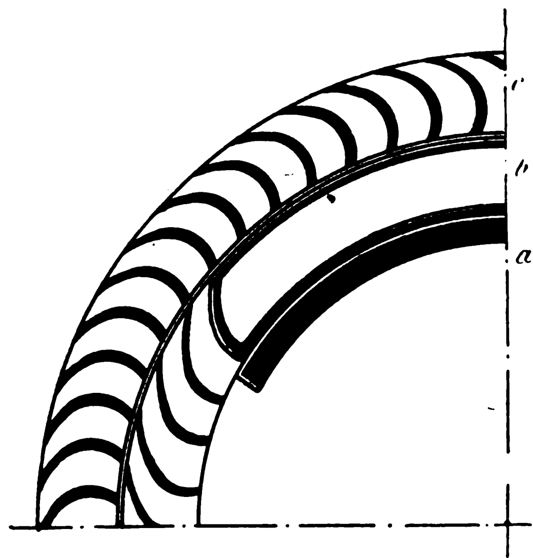


Fig. 1

Le réglage se fait par un régulateur centrifuge ordinaire qui attaque un vannage dont le déplacement ferme plus ou moins les orifices d'injection.

La figure 1 donne schématiquement cette disposition. Elle présente le grand avantage de ne pas modifier la direction de la veine liquide entrant dans la roue et ne provoque point de tourbillons localisés dans les aubes.

C'est à l'absence de tourbillons qu'on doit la bonne conservation de la roue dont la figure 2 reproduit une photographie prise en octobre de cette année.

Nous avons donné ailleurs [1] le cliché que nous reproduisons ici (fig. 3) d'une turbine de 1200 chevaux après trois mois à peine de fonctionnement. A l'inverse de la précédente, cette turbine est à injection totale, à axe vertical ; elle est centrifuge et le réglage se fait au moyen d'un tiroir se déplaçant entre les deux couronnes et obstruant en partie la totalité des aubes. Cette obstruction provoque une déformation de la veine liquide, un changement dans la direction du

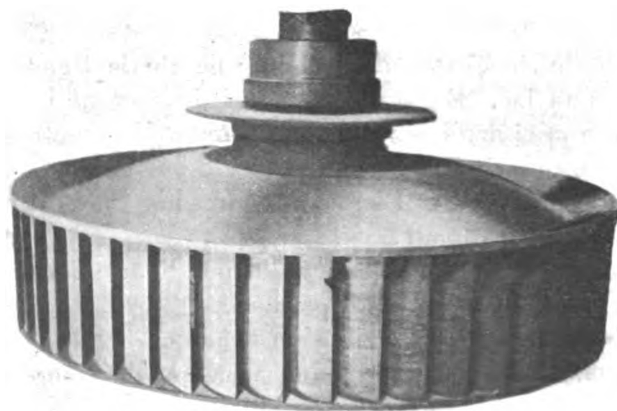


Fig. 2

déplacement de cette veine dans l'aube, et, par suite, des tourbillons plus ou moins violents à l'intérieur des canaux de la roue motrice.

La vue que nous reproduisons en cliché stéréoscopique montre bien où les tourbillons se manifestent. L'attaque qui se produit dans les aubes en des points bien déter-

[1] *Bulletin de l'Association des Ingénieurs* sortis de l'Institut Montéfiore, t. IV, 3e série.

minés, les mêmes à peu près pour chaque aube, écarte toute idée d'usure par le seul frottement continu d'une eau chargée de sable. L'agent destructeur a localisé son action et cet

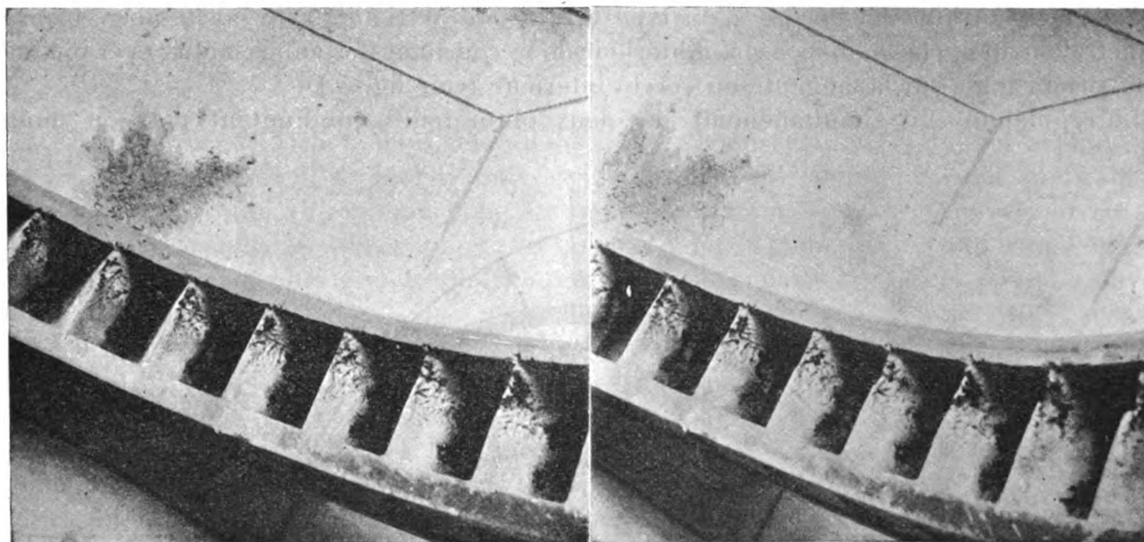


Fig. 3

agent ne peut être qu'un tourbillon (1) qui fait exactement l'effet d'une vrille à laquelle la fonte ne peut résister.

Que la naissance des tourbillons soit due à l'obstruction de l'entrée des aubes et au changement de direction du filet liquide, c'est ce que prouve encore l'examen de la turbine de la figure 4.

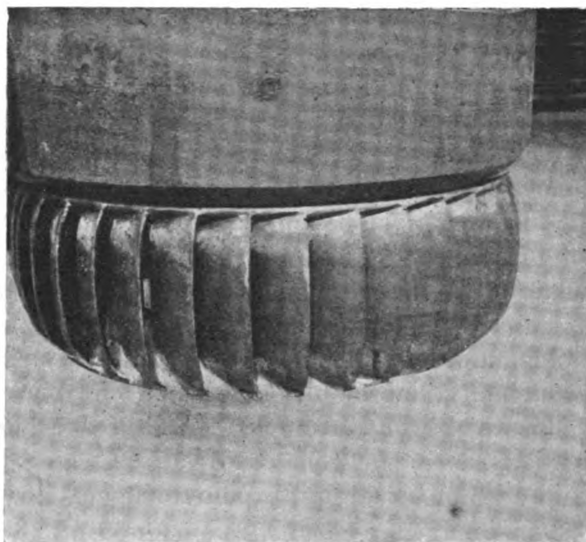


Fig. 4

(1) Sur l'action des tourbillons des eaux on peut consulter les travaux de M. Jean Brunhes, professeur à l'Université de Fribourg, notamment un mémoire du *Globe*, organe de la Société de Géographie de Genève, (septembre 1904) et dans les mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences naturelles. fasc. IV : *La tactique des tourbillons*.

Cette roue est également centrifuge et à axe vertical. Elle est installée dans la même usine que la précédente et comme on peut le voir ne présente pas de traces d'usure comparables à celles de la figure 3, bien qu'elle ait fonctionné déjà plusieurs années.

Mais cette turbine est encore d'un type à injection partielle. Elle porte deux orifices diamétralement opposés, disposés à l'intérieur de la couronne des aubes motrices et inclinés d'un certain angle sur la tangente du cercle intérieur (voir fig. 5.).

Le régulateur agit simultanément sur deux obturateurs qui limitent plus ou moins

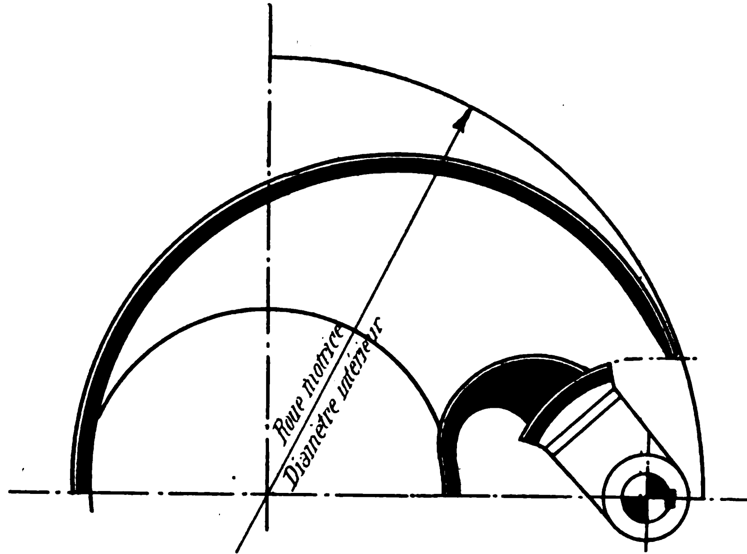


Fig. 5

l'épaisseur de la veine liquide injectée, mais ne changent pas sa direction. Il en résulte que le vannage, sur lequel agit le régulateur, ne détermine pas à l'entrée des aubes une brusque variation de section du filet liquide se développant dans l'aube, et par conséquent, ne provoque pas de tourbillons dangereux.

Nous concluons des faits et des considérations rapportés ici que, d'une façon générale — car les eaux des cours d'eau à pente rapide sont toujours plus ou moins chargées de sable — il faut éviter l'emploi de turbines à veine moulée que les variations de charge et l'action d'un vannage de réglage déforment.

La turbine à libre déviation et à injection partielle doit être préférée et permettra de se mettre à l'abri de tous les ennuis résultant d'une rapide usure des aubes motrices.

Le développement de plus en plus grand des usines hydro-électriques augmente l'importance des problèmes qui touchent à leur établissement et à leur exploitation et nous pensons que les anciennes usines suisses doivent être pour les intéressés une précieuse mine de renseignements et d'indications.

Nous leur apportons aujourd'hui un fait qu'ils pourront peut-être mettre à profit (1).

J. Dalemont.

(1) M. le Dr Ahlborn, de Hambourg, écrivait à M. Brunhes qu'il avait observé aussi sur les hélices des navires des phénomènes d'usure localisée, due sans doute aux tourbillons. Il a fait tout récemment à Berlin une conférence sur ses observations; nous en signalerons la publication aux lecteurs de la Revue.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS (1)

Le but du procédé Aichele dont nous allons donner la description, et qui est exploité par la Société Brown-Boveri, de Baden (Suisse), est de rendre l'éclairage partout applicable et de permettre l'emploi du système pour les trains de toute catégorie en munissant chaque voiture d'une installation d'éclairage absolument indépendante, en même temps que de rendre possible une plus grande distribution de lampes dans les trains pourvus de ces derniers appareils.

Le principe consiste dans l'installation du générateur, de la batterie d'accumulateurs et du dispositif de réglage sur chaque voiture, à l'extérieur de celle-ci, l'intérieur ne possédant que les lampes et les conducteurs nécessaires.

Le dispositif de réglage est l'organe essentiel du système ; son rôle peut se résumer comme il suit : c'est l'appareil destiné à maintenir constante la tension aux bornes des lampes, quel que soit le nombre d'ampoules allumées, quel que soit l'état de la batterie, et que le courant soit fourni par la dynamo ou par la batterie ; en d'autres termes, le régulateur doit agir de façon à soustraire les lampes aux fluctuations qui pourraient résulter des variations de la vitesse du train ; il doit mettre la dynamo hors circuit quand la marche n'est plus assez rapide pour que le générateur donne la force électro-motrice indispensable ; il doit la réintroduire dans le circuit, en place de la batterie, quand la vitesse minima est atteinte ; il doit encore, enfin, limiter l'intensité du courant de charge des accumulateurs et réduire fortement cette intensité quand la charge est complète.

La vitesse minima dont il est parlé ci-dessus, dont l'obtention détermine la mise en circuit de la dynamo, est de 25 kilomètres à l'heure ; la commutation dont il s'agit est effectuée par un « appareil de couplage » C qui fait partie du dispositif de réglage (fig. 1).

Cet appareil de couplage est un électro-aimant en forme de cloche, à deux enroulements séparés et noyau mobile ; l'un des enroulements, en fil gros, est parcouru par le courant de charge ; l'autre, en fil fin, est branché aux bornes de la dynamo.

Dès que la vitesse atteint la valeur indiquée de 25 kilomètres à l'heure, le noyau de l'électro-aimant est attiré vers le haut ; or, à la partie supérieure du noyau se trouvent fixés des ressorts en cuivre, pliés en fourche, qui, par suite du mouvement du noyau, viennent se poser sur une plaque métallique ; dans cette position, la dynamo envoie son courant à la batterie, qui est donc mise en charge ; le couplage, s'effectuant quand la tension à la dynamo est celle de la batterie, ne donne pas d'étincelles ; la batterie ne reçoit du courant que lorsque la pression à la dynamo est supérieure à sa force électromotrice, c'est-à-dire quand la vitesse dépasse 25 kilomètres ; dès ce moment, le second enroulement de l'appareil de couplage reçoit également du courant, mais l'effet que cet enroulement produit s'ajoute à celui du premier et assure par conséquent le maintien d'un bon contact.

Le moteur de réglage R entre en action dès que le courant de la dynamo prend naissance.

(1) Sur l'éclairage électrique des trains, voir l'*Eclairage Electrique*, tome XXXV, (n° du 18 avril 1904), et tome XL (n° du 13 août 1904).

Sur l'arbre du moteur est calée une roue dentée qui engrène avec une plus grande dont est solidaire le levier H du rhéostat d'excitation.

Trois enroulements d'excitation sont disposés sur les électro-aimants du moteur (fig. 2) ; un premier enroulement I est parcouru, ainsi qu'il a été indiqué, par le courant de la dynamo, dès qu'est établi le contact nécessaire par suite du déplacement du noyau de

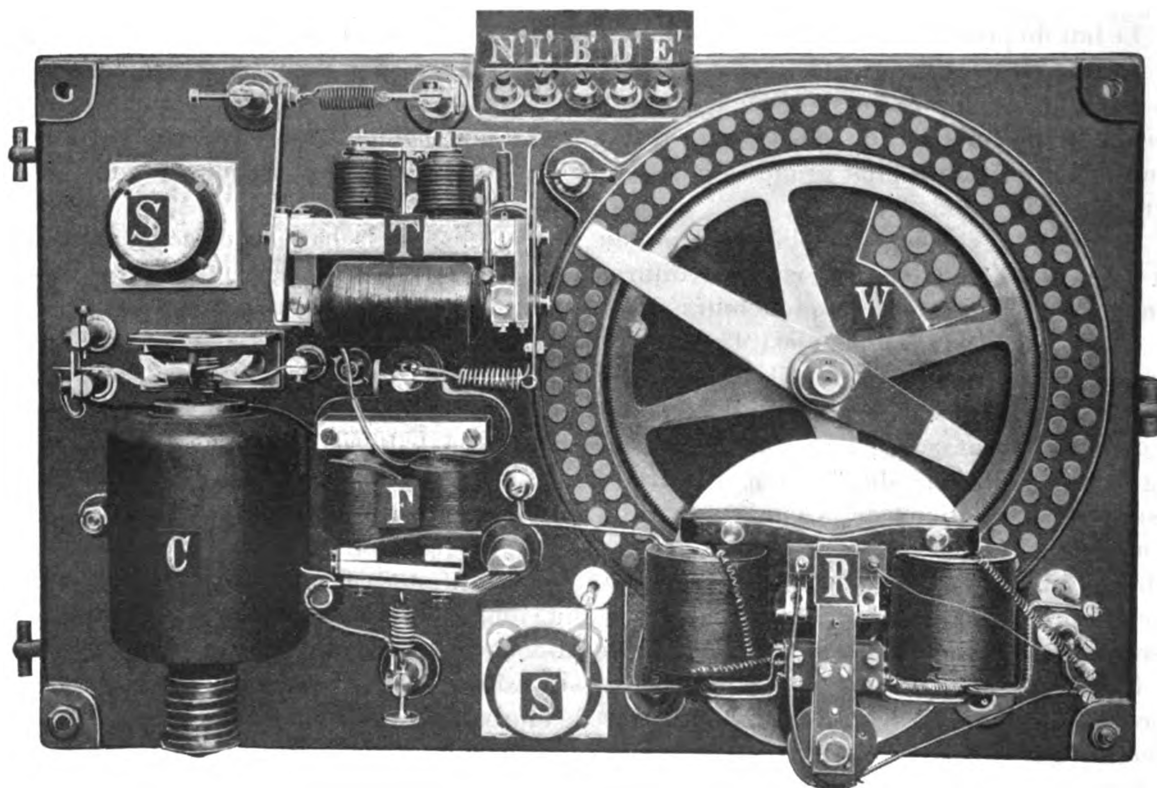


Fig. 1. — Vue des appareils de réglage. Première exécution

l'électro en cloche ; un second, II, reçoit le courant d'éclairage quand une lampe au moins est allumée ; un troisième, III, est soumis à la tension de la batterie, et alimenté tant qu'aucune ampoule n'est allumée, c'est-à-dire aussi longtemps que le second enroulement est hors circuit.

En résumé, le premier enroulement tend à produire le déplacement du moteur dans un sens ; les deux autres, en sens contraire sous l'action combinée du premier et de l'un ou l'autre des derniers ; la grande roue dentée, et partant le levier du rhéostat qui en est solidaire, avons-nous vu, prennent une position déterminée qui resterait invariable si rien n'était modifié aux tensions et aux courants dans les divers circuits ; mais il n'en est pas ainsi, et la rotation de l'induit, amortie par un disque d'aluminium calé sur l'axe et qui est soumis au champ d'un électro, détermine le déplacement du levier sur les contacts, rangés en cercle, du rhéostat d'excitation.

Quand la marche du train s'accélère, la vitesse de rotation de la dynamo augmente, la force électro-motrice qu'elle produit croît, et le courant qu'elle envoie dans l'enroulement du moteur de réglage devient plus intense ; de là, tend à se produire un déplacement du levier qui augmenterait la résistance intercalée dans le circuit d'excitation et diminuerait celle-ci ; ce déplacement s'effectue effectivement jusqu'à ce que l'action de la première

bobine soit équilibrée par l'action inverse de celle des deux autres bobines qui est en circuit ; le contraire se produit si la vitesse de rotation diminue ; c'est alors la seconde ou la troisième bobine qui devient prépondérante et qui provoque le déplacement du levier du rhéostat dans un sens opposé au premier, donc tel que l'excitation soit augmentée.

Disons, avant d'aller plus loin, et pour justifier notre raisonnement en ce qui concerne

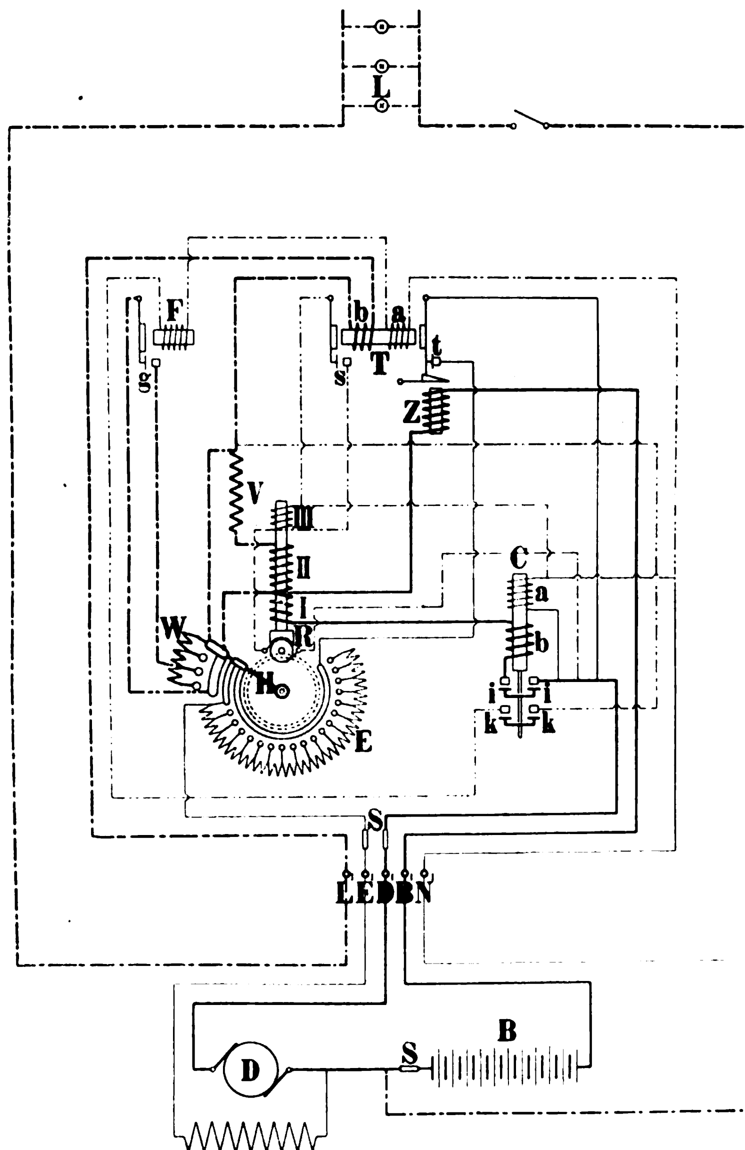


Fig. 2. — Schéma des connexions

la proportionnalité de la vitesse de rotation de la dynamo génératrice avec la marche du convoi, que l'appareil électrique est commandé par l'un des essieux de la voiture, la transmission s'effectuant par courroie ; c'est une dynamo shunt de deux chevaux, suspendue dans le milieu du châssis ; elle est protégée contre la poussière par une enveloppe de fonte ; quand le sens de marche du train est renversé, les balais sont déplacés automatiquement, sur le collecteur, d'une distance correspondant à la distance polaire, ce qui renverse la polarité.

La dynamo (fig. 3) fournit le courant nécessaire à l'alimentation des lampes pendant 25 km. à la plus grande partie de la marche et elle charge, dès le moment où la vitesse dépasse l'heure, la batterie d'accumulateurs.

Celle-ci n'intervient pour l'alimentation des lampes, en lieu et place de la dynamo, que lorsque la marche de cette dernière est tombée à une vitesse telle que le voltage produit ne soit plus suffisant.

Elle ne fournit donc de l'électricité que pendant les arrêts, ou immédiatement avant ou

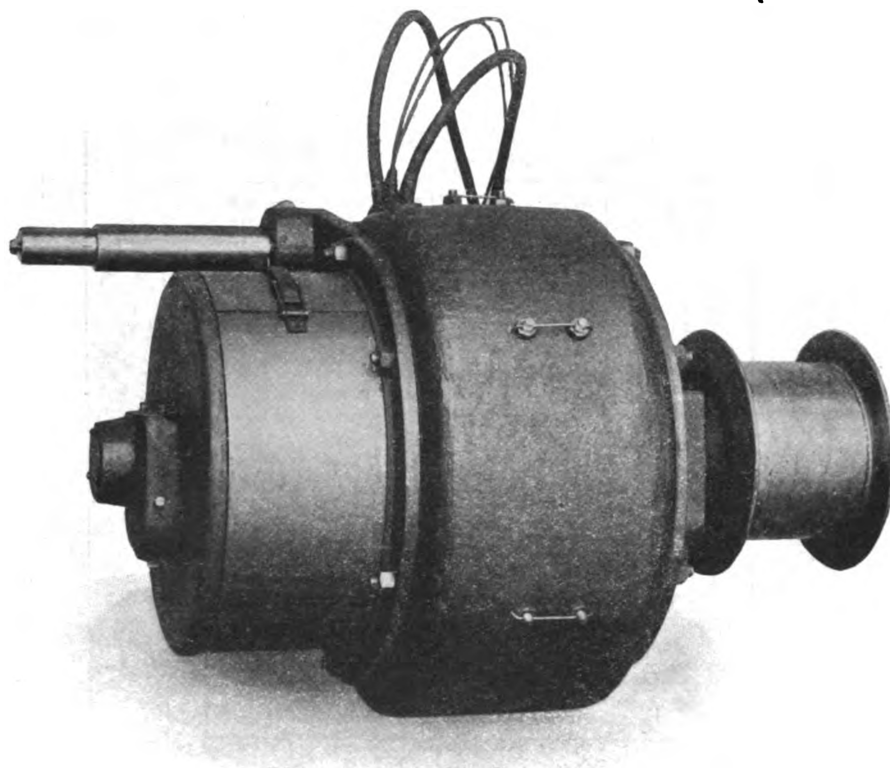


Fig. 3. — Dynamo à courant continu pour l'éclairage électrique des trains. Modèle pour 500 bougies

après ceux-ci, bref dans tous les cas où la vitesse de rotation du générateur est faible ; elle se trouve dans des conditions de fonctionnement comparables à celles que l'on réalise dans les installations fixes les mieux réglées, et qui sont des plus favorables à sa régularité ; elle ne joue, en somme, d'autre rôle que celui de batterie tampon, ce qui permet d'en limiter les dimensions et le poids ; elle comportera, par exemple, 9 éléments d'une capacité de 140 ampères-heures, pour des lampes de 18 volts ; on emploiera deux groupes de 9 éléments, si le voltage atteint le chiffre de 36 ; ces éléments sont toujours dans un état voisin de la pleine charge et ne participent, comme il a été dit, à la fourniture du courant que pendant les arrêts et la marche à vitesse très réduite ; on les réunit par groupe de 9 dans des boîtes que l'on place dans un endroit accessible ; évidemment on pourrait en augmenter le nombre de façon à réaliser une installation d'éclairage fonctionnant sous un voltage plus élevé.

Reprenons la description du dispositif de réglage dont les différents organes sont ras-

semblés, dans une boîte commune, sur le fond en acier de celle-ci, qui est fermée par un couvercle de tôle.

L'ensemble est placé soit à l'intérieur, soit, le plus souvent, à l'extérieur de la voiture contre le châssis.

La boîte, dont les dimensions sont de $16 \times 65 \times 39$ cm., pèse, au total, c'est-à-dire en y comprenant l'appareil de réglage, de 35 à 40 kg. seulement ; toutes les parties en sont interchangeables et peuvent être montées avec facilité. Les figures 4, 5, 6, 7 et 8 permettent de se rendre compte de la disposition de ces boîtes et de la place qu'elles occupent dans les voitures.

Nous avons vu comment, au delà d'une certaine vitesse, la dynamo est mise en circuit

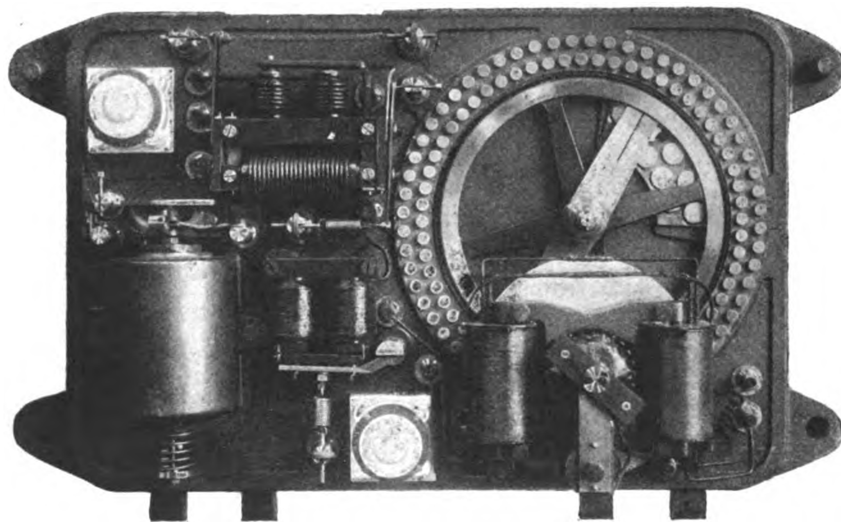


Fig. 4. — Vue de devant de la boîte à appareils. Dernière exécution

pour la charge de la batterie et l'alimentation des lampes et comment se maintient constante la force électro-motrice aux bornes des ampoules.

Le rôle du moteur de réglage, avec ses trois enroulements est, ainsi qu'on l'a déjà dit, soit de maintenir constant le courant de charge, soit de maintenir un certain rapport entre les intensités des courants de charge et d'éclairage.

D'autres organes que ceux énumérés jusqu'ici interviennent encore dans le réglage et font partie de l'appareil de réglage.

C'est, d'abord, un groupe de deux électro-aimants F et T destinés à permettre le réglage pour un courant de charge très faible ; ils écartent, soit totalement, soit partiellement du circuit les bobines II et III du moteur de réglage respectivement parcourues par le courant d'éclairage et soumises à l'action de la force électro-motrice de la batterie.

C'est, ensuite, une résistance W dont les contacts sont parcourus par le levier du rhéostat lors du premier ou du dernier mouvement de ce levier, cette résistance est mise en parallèle avec la bobine II du moteur qui parcourt le courant d'éclairage ; le passage du levier sur les contacts, lors du premier ou du dernier mouvement, produit une augmentation ou une diminution progressive de la résistance.

Cette disposition, de même que la précédente, a pour but de faire varier graduellement l'action de la bobine shuntée.

***

Enfin intervient encore un interrupteur automatique établi de façon à couper, en temps opportun le circuit d'excitation de la dynamo.

La boîte de réglage contient des organes « passifs », de plus : deux coupe-circuits fusibles et une résistance U insérée avant les lampes.

⁂

Les différents organes ayant été passés en revue, examinons quels en sont, de façon précise et complète, le rôle et le fonctionnement.

Supposons qu'après avoir marché à vitesse normale pendant un temps suffisant pour

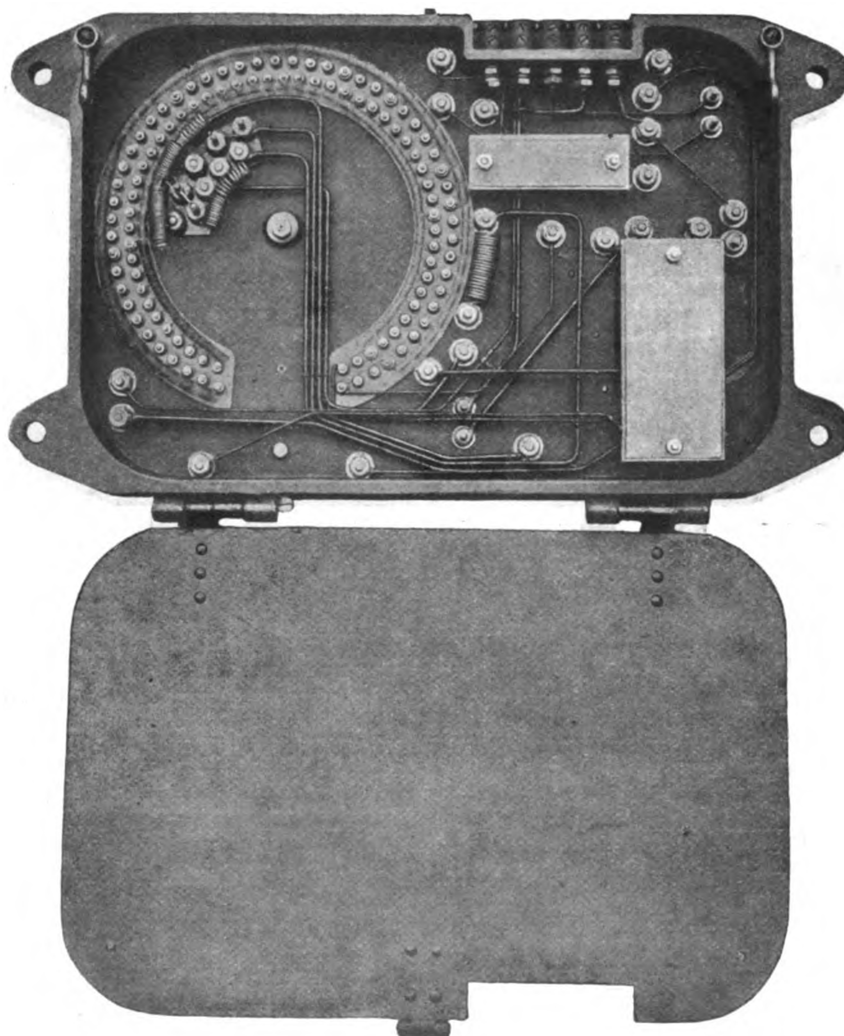


Fig. 5. — Vue de derrière de la boîte à appareils. Dernière exécution

permettre la charge complète de la batterie, le train arrive dans une station, où il doit faire un arrêt plus ou moins long.

Les lampes sont, supposons-nous, allumées.

Pendant la période de ralentissement, le courant d'éclairage, en circulant dans le second

enroulement des électros du moteur de réglage, a déterminé la rotation du rhéostat, levier qui est allé se placer dans la position extrême, en passant sur les différents plots successifs tant du rhéostat que de la résistance W shuntant le second enroulement en question.

A l'arrêt que nous considérons, le courant d'éclairage ne produira donc aucun effet; seul l'appareil de couplage, ne recevant plus de courant dans ses enroulements, abandonnera son noyau qui coupera le contact établi en *ii* pour fermer le circuit de charge de la batterie; les lampes seront donc reliées sans aucune résistance aux bornes de la batterie; en effet, dans la position extrême du levier, le second enroulement du moteur de réglage, le shunt W de cet enroulement et la résistance V des lampes sont en court-circuit; en outre, l'un des deux relais complémentaires de réglage dont il a été question ci-dessus, T, qui possède deux enroulements dont l'un est parcouru par le courant d'éclairage, aura, sous l'effet de ce dernier, attiré son armature et mis hors d'action le troisième enroulement du moteur de réglage, en fermant un contact S qui shunte cette bobine en court circuit.

Bref, comme il a été dit, les lampes seront alimentées directement par la batterie, et

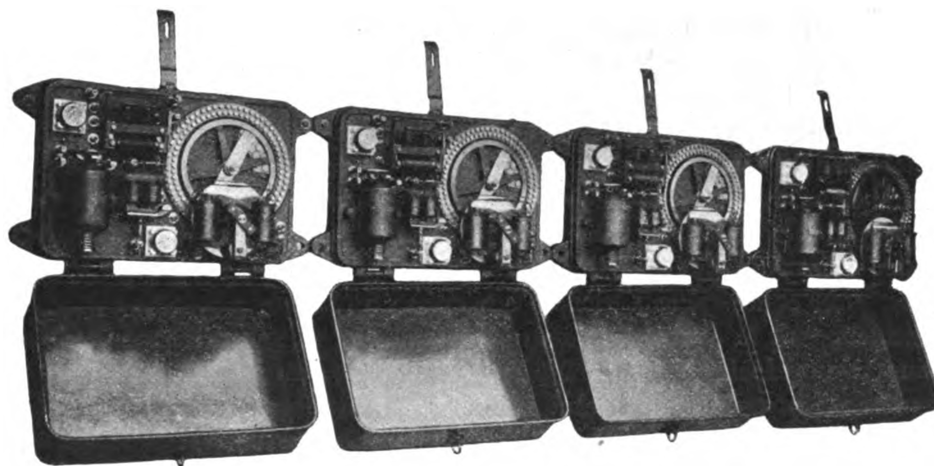


Fig. 6

sans qu'aucune résistance, en série ou en dérivation, vienne absorber une partie plus ou moins grande de la puissance ; l'éclairage sera assuré aussi longtemps que le permettrait la charge de la batterie et le nombre de lampes allumées.

La batterie continuera à être mise à contribution pendant les premiers moments de la mise en marche, et tant que la vitesse n'atteindra pas 25 km. ; une fois cette vitesse atteinte, la force électro-motrice produite aux bornes du moteur atteindra une valeur égale à celle de la batterie, et le couplage entre la génératrice et la batterie pourra être opéré ; ce couplage s'effectuera grâce à l'intervention de l'appareil de couplage, dont l'un des deux enroulements est, avons-nous vu, toujours inséré aux bornes de la dynamo; le réglage est tel que le courant envoyé à ce moment dans l'enroulement en question y produit, le nombre de spires étant convenablement calculé, une force magnéto-motrice qui détermine l'ascension du noyau, ce qui amène la fermeture du circuit reliant la batterie au générateur ; la dynamo envoie dès lors aux accumulateurs un courant plus ou moins intense et ce courant, en passant dans le second enroulement *b* de l'appareil de couplage, renforce l'attraction exercée sur le noyau ; le courant de charge augmente à mesure que la vitesse du train s'accélère.

Mais le rôle du courant de charge ne se borne pas au renforcement de l'attraction exercée par les enroulements de l'appareil de couplage sur le noyau : ce courant circule également dans le premier enroulement du moteur de réglage et il y produit, ainsi qu'il a été dit, la rotation de l'arbre ; le levier du rhéostat se déplace en même temps, mais il n'effectue pas une rotation complète.

En effet, dès son premier déplacement, il ramène dans le circuit, outre la résistance V des lampes, la seconde bobine du moteur, shuntée par une section de son rhéostat W ; la rotation s'effectue jusqu'au moment ou l'action du courant d'éclairage dans l'enroulement 2 équilibre celle du courant de charge dans l'enroulement 1 ; à ce moment, le levier du rhéostat s'immobilise et sa position reste fixe aussi longtemps que rien n'est modifié aux intensités des courants passant par les bobines 1 et 2.

Une modification se produit, par exemple, quand la vitesse du train augmente ; la force électro-motrice aux bornes du générateur s'élève et le courant de charge devient plus fort ; de là résulte que la bobine 1 devient prépondérante et provoque un nouveau mouvement angulaire du levier qui est amené au second contact de la résistance W shuntant l'enroulement 2, lequel reçoit lui-même plus de courant ; un nouveau temps d'arrêt se produit ici encore, et dure jusqu'à ce que le courant de la dynamo se soit accru suffisamment pour produire un nouveau déplacement.

Le levier glisse donc sur les contacts de la résistance du shunt W, la valeur de celle-ci augmente ainsi graduellement, faisant varier de façon progressive la résistance mise en série avec les lampes, résistance qui est constituée du groupe des résistances en parallèle : d'une part, la résistance shunt W, d'autre part, l'enroulement 2 et la résistance-série V.

La résistance shunt devient finalement infinie quand le levier du rhéostat en quitte le dernier contact, pour commencer à glisser sur ceux du rhéostat proprement dit.

Dès ce moment, tout le courant d'éclairage passe par le second enroulement (enroulement que nous avons désigné par le n° 2) des électros du moteur de réglage ; le premier de ces mêmes enroulements (celui auquel a été attribué le n° 1) reçoit, lui, le courant de la dynamo. Sous l'action combinée de ces deux enroulements, qui agissent en sens contraire, le levier est ramené en place (en admettant que la vitesse croisse suffisamment), en marquant, sur les divers plots, des temps d'arrêt qui correspondent aux différentes vitesses du train, à une valeur du courant de charge dans un rapport invariable avec l'intensité du courant d'éclairage.

Pour une vitesse donnée, un changement de la position du levier ne se produit que si le courant d'éclairage varie, c'est-à-dire si le nombre des lampes allumées est modifié.

L'efficacité du système dépend entièrement, du rapport entre les nombres de spires des bobines 1 et 2 ; ce rapport doit être établi de façon que le courant de charge de la batterie ne prenne jamais une valeur dangereuse pour celle-ci, même dans les cas extrêmes.

Cependant, la vitesse de marche se maintenant à une grande valeur pendant un temps prolongé, il arrive, particulièrement sur les convois à grande vitesse et à long parcours, que la charge de la batterie s'approche de sa valeur maxima.

C'est alors qu'intervient le second des électro-aimants auxiliaires ; celui-ci est à un seul enroulement et il est inséré aux bornes de la batterie ; l'augmentation de la tension de celle-ci a pour effet de renforcer le courant qui traverse cet électro-aimant et de lui faire prendre, en dernier lieu, une valeur telle que l'armature de ce relais ferme en *g* le circuit d'une des sections de la résistance-shunt, et mette cette section en parallèle avec la bobine 2 du moteur de réglage.

De là résulte un déplacement du levier du rhéostat. En effet, la bobine 2 ne reçoit plus

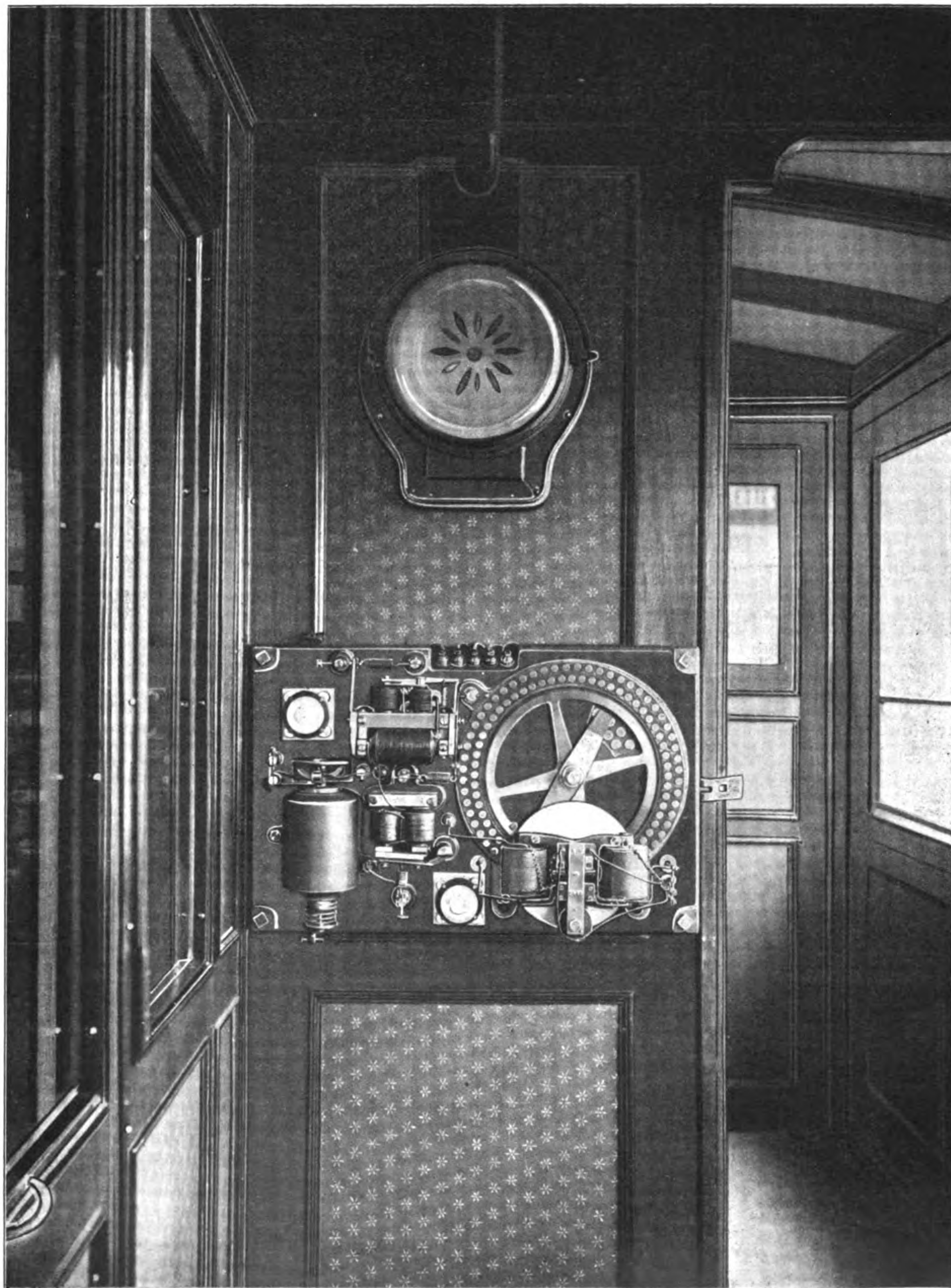


Fig. 7. — Boite à appareils ouverte, montée dans le couloir d'une voiture de 1re classe

qu'une partie de l'intensité du courant d'éclairage et il suffit pour compenser l'action magnétisante du courant dans la bobine 2, d'un certain courant plus faible dans la bobine 1, l'intensité de ce courant dépendant encore du nombre de spires de chacun des deux enroulements.



Voyons, avant d'aller plus loin, quelles sont les conséquences de ces diverses commutations au point de vue de la constance de l'éclairage, autrement dit de la force électro-motrice appliquée aux lampes, force électro-motrice qui doit échapper à toute fluctuation et ne pas se ressentir des modifications apportées aux communications électriques, à la vitesse, etc., si l'on veut échapper aux variations de l'intensité lumineuse des lampes qui produiraient un effet déplorable.

Tout d'abord, voyons quelle est la conséquence de la disposition adoptée et dont nous venons de voir le fonctionnement pour la mise en circuit de la dynamo, puis de la substitution de celle-ci à la batterie.

Nous avons vu que, pendant le premier développement du courant de charge, le levier du rhéostat glisse lentement sur les contacts de la résistance shunt.

Le couplage même de la dynamo ne produit aucune influence sur la constance de la force électro-motrice aux lampes, puisqu'il ne s'opère qu'au moment où la tension aux bornes de la dynamo et celle de la batterie se font équilibre.

Mais à mesure que la vitesse s'accentue, le courant de la dynamo prend plus d'intensité ; par contre la résistance placée devant les lampes, et dont la constitution a été indiquée augmente automatiquement en passant, graduellement, pas des valeurs successives qui, à chaque instant, sont proportionnelles aux valeurs croissantes du courant de charge.

Bien entendu, nous parlons ici d'après les constructeurs, l'expérience personnelle pouvant seule permettre d'asseoir un jugement définitif.

Le courant de décharge diminue, évidemment, et, plus tard, le courant de charge augmente progressivement, en produisant aux bornes de la batterie une élévation de tension graduelle.

Mais à cette augmentation de la tension correspondent diverses combinaisons des résistances, combinaisons telles que la chute ohmique du courant d'éclairage (invariable tant que le nombre de lampes reste le même) soit, à chaque instant, en rapport avec l'élévation de voltage produite d'autre part.

La constance du voltage est-elle maintenue quand croît la vitesse ?

Nous avons exposé précédemment quelles manœuvres se produisent alors ; ces manœuvres ont pour but de rendre l'intensité lumineuse de chaque lampe indépendante du nombre des ampoules mises en circuit ; une condition importante qui n'a guère pu être réalisée jusqu'ici est, en effet, que des lampes puissent, à volonté, être allumées ou éteintes, et ce sans qu'il soit utile de les remplacer par une résistance inerte équivalente.

Le déplacement du levier du rhéostat, déplacement qui s'effectue dans les conditions indiquées précédemment, a pour effet de rendre la chute de tension, due au passage du courant d'éclairage dans la résistance série V des lampes, sans influence sur l'uniformité de la tension appliquée, bien que cette chute varie, conformément à loi d'Ohm, proportionnellement à l'intensité du courant. Dans ce but, la disposition est telle que l'accroissement de tension produit aux bornes de la batterie par le courant de charge, compense la perte de force électromotrice dans la résistance dont il s'agit. La force électromotrice aux bornes des lampes reste donc invariable, que les lampes soient allumées ou non, quel que soit le nombre

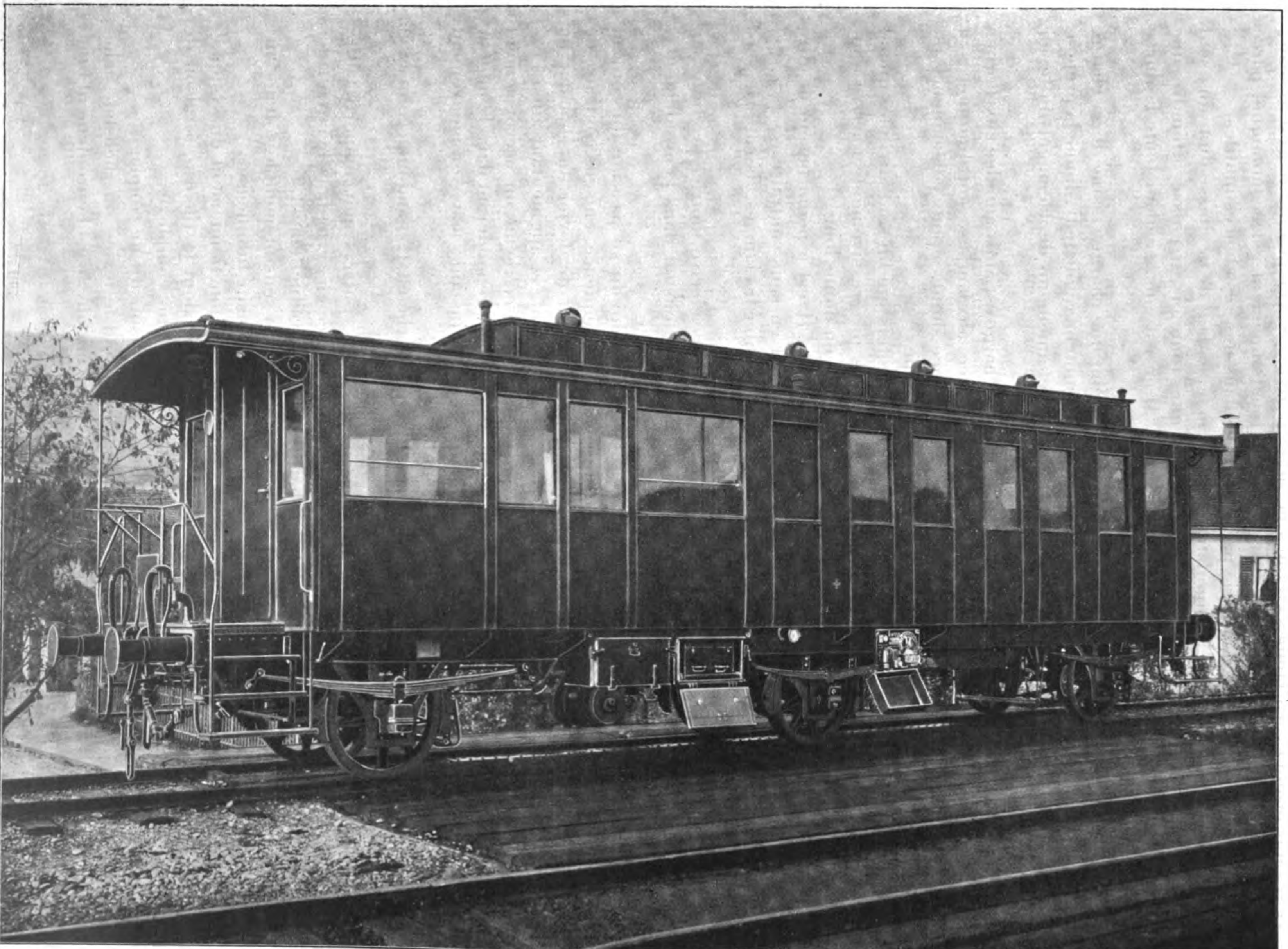


Fig. 8. — Voiture de Ire et IIe classe avec équipement pour l'éclairage électrique (Appareils montés sous la voiture).

de celles qui brûlent ; les lampes éteintes ne doivent pas être remplacées dans le réseau ; il ne se produit pas de surélévation de tension ; le fonctionnement est économique, parce qu'il n'explique pas de perte d'énergie par effet Joule dans des résistances inutiles.

Quant au courant fourni aux accumulateurs, il est indépendant de la vitesse du train ; seul le nombre des lampes allumées le fait varier, sans que, toutefois, il puisse atteindre une valeur préjudiciable à la conservation de la batterie. Il en est ainsi pendant toute la durée de l'éclairage.

D'un autre côté, nous avons vu que si la batterie atteint une charge voisine de sa charge maxima, un relais auxiliaire, en shuntant la bobine 2 du moteur régulateur, donne la prépondérance au courant de la dynamo sur celui des lampes, et amène un déplacement du levier du rhéostat.

La surélévation de tension produite par le courant de charge est ainsi annulée aux bornes de la batterie, sans que, toutefois, la force électro-motrice, aux lampes, soit diminuée ; en effet, l'insertion, en parallèle, d'une section de la résistance-shunt, a pour conséquence de diminuer la résistance totale mise en circuit avant les lampes.

Tel est le fonctionnement du système et tels sont les effets qui lui sont attribués quand la vitesse du train, partant d'un minimum (arrêt s'accélère progressivement et arrive à un maximum, auquel elle se maintient pendant un temps plus ou moins long.

Qu'arrivera t-il si la vitesse décroît pour revenir à zéro ? Il est à peine besoin de dire que les opérations qui viennent d'être décrites s'effectueront en sens contraire.

La tension de la dynamo devenant insuffisante pour alimenter les lampes, la batterie sera remise en circuit et le générateur écarté graduellement.

A mesure, en effet, que la vitesse du train diminue, la force électro-motrice produite par la dynamo diminue de même, et le courant que produit cette tension dans l'enroulement 1 du moteur de réglage décroît en intensité.

Il arrive ainsi que l'effet de ce courant est moindre que celui dû au passage du courant d'éclairage dans l'enroulement 2, et le moteur tourne, en conséquence, en sens contraire de sa rotation primitive, ce qui amène également un déplacement du levier du rhéostat en sens inverse; ce levier, sautant d'un plot du rhéostat au suivant, et augmentant ainsi l'excitation de la dynamo shunt, la force électro-motrice de celle-ci reçoit un accroissement passager, qui rend, momentanément, le courant de la dynamo prépondérant dans le moteur régulateur ; le levier du rhéostat est ainsi immobilisé pour un instant ; mais son mouvement rétrograde se continue à mesure que la vitesse diminue.

A un moment donné, le levier, après avoir parcouru tout le rhéostat, abandonne celui-ci et parcourt alors la résistance shunt de l'enroulement 2 du moteur.

Le déplacement du levier de l'un à l'autre des quelques contacts que comporte ladite résistance détermine une réduction progressive de la résistance en série dans le circuit des lampes, en même temps que le courant de charge diminue graduellement.

De même que l'accélération n'a pas eu pour effet de modifier sensiblement le voltage aux lampes, le ralentissement s'effectue donc sans influer sur l'intensité lumineuse.

Remarquons bien que nous nous bornons à esquisser ici le fonctionnement du système, sans avoir la prétention d'entrer dans les détails d'un réglage dont la théorie, à raison de la nature des organes qu'il comporte, est, on le conçoit, des plus complexes.

Que devient, dans les conditions exposées ci-dessus, le dispositif de couplage.

Une seule partie de cet appareil intervient encore quand le levier du rhéostat, achevant son mouvement de recul, a repris sa position extrême initiale : c'est l'enroulement branché, de façon permanente, entre les bornes de la dynamo.

Nous en sommes actuellement au moment où la vitesse du train est encore suffisante pour que la force électromotrice engendrée dans la dynamo soit égale à celle de la batterie :

Le courant qui passe dans l'enroulement du moteur dont il s'agit ci-dessus, maintient encore le noyau, et le couplage entre la dynamo et la batterie est toujours établi.

Mais, l'instant d'après, le courant n'a plus l'intensité suffisante, le noyau déclenche et de là résulte la rupture des connexions qu'établissent les contacts du cuivre *ii*.

Cette interruption détermine la mise hors circuit de la dynamo, l'éclairage étant assuré par la batterie seule.

Remarquons, en passant, que, dans le mode d'installation décrit, la question de maintien de l'uniformité du voltage se compliquait par le fait de la suppression de l'une des deux batteries d'accumulateurs que l'on emploie dans d'autres procédés.

Une autre remarque encore est que si, par suite de ce qu'elle fournit du courant aux lampes, la batterie, en se déchargeant, perd de sa tension, le courant que celle-ci produit dans l'électro-aimant auxiliaire à un enroulement F devient trop faible pour maintenir son armature, laquelle reprend sa position première en ouvrant le contact *g* de la section de la résistance-shunt W. Dès ce moment, tout est donc rétabli dans l'ordre normal et la batterie est prête à recevoir une nouvelle charge.

Un autre cas nous reste à considérer ; c'est celui où aucune lampe n'est en circuit, cas dans lequel intervient le troisième enroulement des électros du moteur de réglage.

Quand aucune lampe n'est allumée, le courant d'éclairage est supprimé et, partant, l'enroulement 2 du moteur peut être considéré comme inexistant

En outre, l'enroulement *b* du relais auxiliaire T à deux bobines qui reçoit le courant d'éclairage n'est plus alimenté et l'armature ne se maintient que par l'action du second enroulement *a* de ce relais.

Le circuit de ce second enroulement est fermé, pendant la marche, grâce à l'intervention de contacts *k* qui font partie de l'appareil de couplage *c*.

A l'arrêt, ces contacts sont interrompus et, de même que le premier, le second enroulement du relais ne reçoit plus de courant ; l'armature, devenue libre, déclanche et ouvre un contact qui détermine la mise en circuit de la bobine 3 du moteur de réglage, laquelle de ce fait, est dérivée aux bornes de batterie.

Tout se passe alors entre les enroulements 1 et 3 du moteur, comme entre les enroulements 1 et 2.

Sous l'influence combinée des deux courants qui passent dans ces bobines, courant de charge dans 1, de la batterie dans 2, le courant de charge lui-même est maintenu constant en dehors de la période d'éclairage.

La mise hors-circuit du générateur à l'arrêt s'effectue comme précédemment; de même quand la vitesse faiblit.

Avant chaque arrêt l'appareil de couplage coupe la liaison entre la batterie et le générateur, pour la rétablir ensuite peu de temps après le départ, et dans les mêmes conditions que précédemment.

Le relais à deux enroulements, qui, nous l'avons vu, produit lui-même la commutation destinée à mettre en œuvre le troisième enroulement du moteur, intervient à son tour, quand la charge de la batterie est suffisante.

A ce moment, en effet, il se produit une élévation de tension et la force électromotrice résultante, qui est appliquée aux extrémités du second enroulement *a* du relais, provoque, par le courant qu'elle fait circuler dans cet enroulement, l'attraction de l'armature du

****

relais ; le contact *s* qui, en s'ouvrant, avait déterminé l'intervention de l'enroulement 3 du moteur de réglage, est fermé à nouveau, ce qui supprime le courant dans l'enroulement 3 et, par l'action de l'enroulement 1, provoque le mouvement du levier qui annule graduellement le courant de charge.

La batterie, chargée, est donc prête à fournir l'éclairage ; supposons qu'il lui soit fait appel pendant un arrêt ; la charge n'étant plus complète au moment du départ, il faut, pour que le fonctionnement du système ne soit pas défectueux, que la batterie soit remise en charge une fois la vitesse normale atteinte ; c'est-à-dire que le contact qui commande le troisième enroulement du moteur doit être ouvert à nouveau.

Cette manœuvre se produit-elle ?

Oui, parce que, à l'arrêt, l'appareil de couplage abandonne son noyau qui ouvre les contacts auxillaires *k*, grâce à l'intervention desquels est établi le circuit du second enroulement *a* du relais auxiliaire T. Ce courant étant interrompu, l'armature n'est plus attirée et l'enroulement 3 du moteur est de nouveau préparé au fonctionnement.

L'appareil de réglage se complète par un organe de sécurité qui est destiné à empêcher que, par suite d'une interruption dans le circuit de la batterie, la tension de la dynamo ne puisse prendre une valeur excessive, susceptible de causer tort aux lampes.

Cet organe est combiné avec le relais auxiliaire T à deux enroulements, et il est constitué très simplement d'une seconde armature de ce relais et d'un dernier électro-aimant Z pourvu d'une armature mobile, taillée en plan incliné.

Quand le courant produit par la dynamo devient trop intense, la dérivation établie à travers le premier enroulement *b* du relais T atteint une valeur suffisante pour amener l'attraction de la seconde armature, qui coupe, en se déplaçant, le circuit d'excitation de la dynamo en *t* ; l'armature de l'électro-aimant supplémentaire Z fonctionne, à l'égard de celle du relais auxiliaire, à la façon d'un loquet et elle l'immobilise, à distance du contact du circuit d'excitation de la dynamo, aussi longtemps qu'aucun courant ne circule dans l'électro Z, c'est-à-dire aussi longtemps que l'interruption persiste dans le circuit de la batterie ; dès que celle-ci peut produire son courant, en d'autres termes, dès que la rupture est levée, l'enroulement de l'électro Z reçoit ce courant et, en attirant son armature, dégage la seconde armature du relais, ce qui rétablit le circuit d'excitation de la dynamo.

Nous nous résumerons en disant que, conformément à ce qui vient d'être dit, pendant l'éclairage, en temps normal, les lampes sont alimentées directement par la dynamo qui fournit, en outre, du courant à la batterie, aussi longtemps que celle-ci ne se trouve pas à pleine charge. L'intensité du courant de charge dépend du rapport réciproque entre les bobines du moteur de réglage parcourues respectivement par le courant de charge et par celui d'éclairage ; elle est donc indépendante de la vitesse du train, et n'est modifiée que lorsque le nombre de lampes est changé ; elle ne peut dépasser un certain maximum ; le réglage du système (nous entendons : son appropriation aux diverses catégories de convois) dépend de la valeur donnée à la résistance W qui shunte l'enroulement d'éclairage ou enroulement 2 du moteur ; le courant de charge s'annule automatiquement quand la batterie est complètement chargée ; il intervient à nouveau si celle-ci a été mise à contribution.

Nous avons suffisamment insisté sur les conditions où se réalisent les combinaisons diverses qui accompagnent les différents états du convoi et de l'éclairage :

En fait, tout se passe – selon l'inventeur — pour ce qui est de la charge de la batterie,

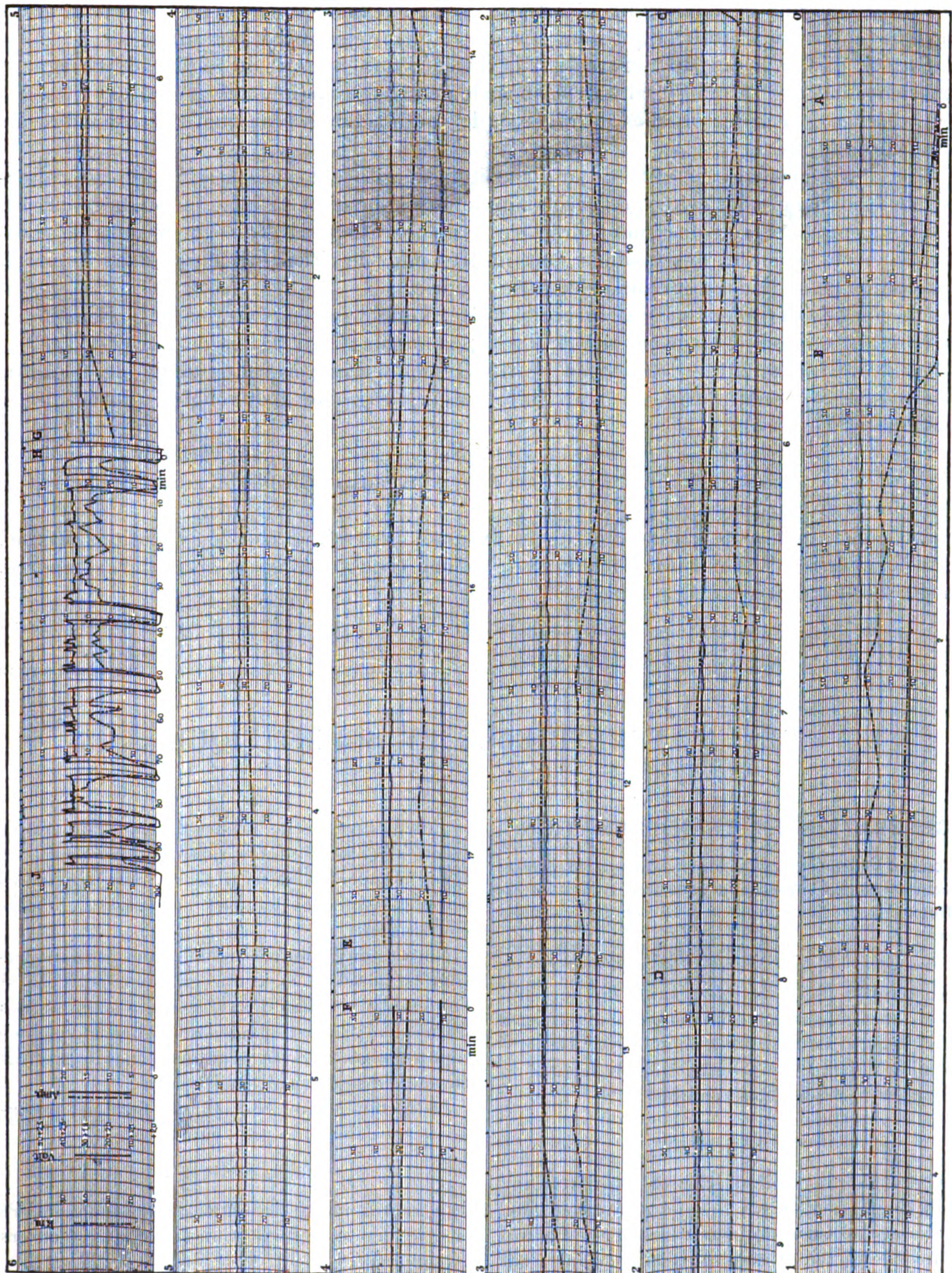


Fig. 9

ainsi que dans une installation fixe, c'est-à-dire que la charge se fait avec un courant constant qui s'interrompt automatiquement dès que la pleine charge est atteinte.

On sait quelle importance exerce sur la durée d'une batterie le régime de charge, et l'on comprend que l'attention ait porté spécialement sur ce point.

L'absence, parmi les organes de réglage, de toute action mécanique, correspond à une diminution du poids.

Une autre conséquence utile de la disposition décrite est que les étincelles au collecteur de la dynamo sont évitées de façon simple au moment de la mise en ou hors circuit.

Pour compléter la protection assurée par le dispositif spécial de sécurité dont la constitution a été énoncée, des fusibles sont insérés dans le circuit principal, dans le circuit d'excitation de la dynamo et dans celui de la batterie.

Un équipement d'essai de ce procédé a été monté sur un wagon des chemins de fer fédéraux suisses et expérimenté à l'essai, notamment sur la ligne Zurich-Coire.

La batterie employée, composée de 18 éléments d'une capacité totale de 90 à 100 ampères-heures, était destinée à produire un éclairage de 100 bougies (durée de la décharge : 10 heures).

D'après les expériences auxquelles il a été procédé, les plus fortes variations de voltage aux lampes ne dépassent pas ± 0.4 volt ; avec de nouveaux appareils on aurait même réduit cette limite à ± 0.3 volt.

De même, l'intensité du courant de la dynamo, qui avait accusé des variations maxima de ± 5 ampères, n'a plus donné dans la suite qu'une oscillationvariant entre ± 2.5 ampères. La fig. 9 reproduit les diagrammes.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Le calcul de la dispersion et du courant magnétisant dans les moteurs à courants triphasés. — **Benischke.** — Electrotechnische Zeitschrift, 22 septembre.

1. Introduction

Abstraction faite des pertes, les moteurs triphasés asynchrones ne se distinguent les uns des autres que par la dispersion magnétique. De cette grandeur dépend, en premier lieu, le facteur de puissance, à cause de la relation

$$(\cos \varphi)_{max} = \frac{1}{1 + 2\tau} \qquad (1)$$

De plus, le diagramme du cercle est déterminé par la dispersion et par le courant magnétisant.

On a donné dans ces dernières années un grand nombre de formules compliquées pour le calcul de la dispersion. Si on les applique à des moteurs munis d'encoches de formes diverses, on trouve qu'elles ne sont toutes valables que pour des types d'encoches déterminées, pour lesquelles ont été établis les facteurs empiriques qu'elles contiennent.

Nous allons montrer que le calcul de la dispersion est possible avec une grande exactitude si l'on établit la valeur des réluctances magnétiques d'après les proportions géométriques et magnétiques du moteur. On peut aussi ensuite trouver facilement le courant magnétisant.

Le facteur τ que contient la formule précédente est déterminé par l'équation :

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2 \qquad (2)$$

où τ_1 représente le facteur de dispersion primaire et τ_2 le facteur de dispersion secondaire (facteurs de Heyland).

La fig. 1 représente le diagramme d'un trans-

formateur ordinaire. τ_1 est défini par l'égalité :

$$\tau_1 = \frac{GA}{AO} \qquad (3)$$

GA est le flux de dispersion primaire

$$\Phi'_1 = \frac{F'_1}{R'_1}$$

en désignant par F'_1 la force magnéto-motrice

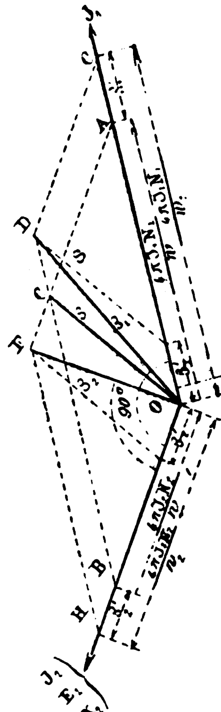


Fig. 1

et par R'_1 la réluctance magnétique pour ce flux de dispersion. AO est le flux primaire fictif, qui est égal à

$$\frac{F_1}{R}$$

en désignant par F_1 la force magnéto-motrice et par R la reluctance pour ce flux.

De même, on a pour le facteur de dispersion secondaire :

$$\tau_2 = \frac{HB}{B_o}, \qquad (4)$$

pour le flux de dispersion secondaire :

$$HB = \Phi'_2 = \frac{F'_2}{R'_2},$$

et pour le flux fictif secondaire

$$B_o = \frac{F_2}{R}.$$

Les flux fictifs primaire et secondaire rencontrent la même reluctance, à savoir celle qui est relative au flux commun Φ, puisque les deux flux fictifs ne sont, d'après leur définition, que les composantes primaire et secondaire de ce flux commun (parallélogramme OACB).

2. Les facteurs de dispersion d'un moteur triphasé

Les facteurs de dispersion τ_1 et τ_2 sont donc déterminés par le rapport d'un flux de dispersion au flux fictif correspondant et non pas à un flux réel (1).

Dans le calcul de ces coefficients il faut faire comme si les flux de dispersion et les flux fictifs existaient pour eux seuls. Les facteurs de dispersion de Hopkinson sont déterminés par les égalités :

$$\nu_1 = \frac{GO}{AO}, \quad \nu_2 = \frac{Ho}{Bo} \qquad (5)$$

c'est-à-dire par le rapport de la composante CO du flux primaire (ou de la composante HO du flux secondaire) au flux fictif correspondant.

$$F'_1 = F_1$$

et

$$F'_2 = F_2,$$

c'est-à-dire si les forces magnétomotrices des flux primaires GA et AO et celles des deux flux secondaires HB et BO sont égales entre elles, comme c'est le cas dans les transformateurs ordinaires, il vient :

$$\tau_1 = \frac{R}{R'_1} \quad \tau_2 = \frac{R}{R'_2} \qquad (6)$$

$$\nu_1 = \frac{R}{R_1} \quad \nu_2 = \frac{R_2}{K} \qquad (7)$$

(1) Beaucoup d'erreurs ont été commises à ce sujet. Par exemple dans le livre de Behrend sur les moteurs d'induction § 44, le facteur de dispersion est déterminé d'après le flux réel résultant. On trouve souvent cette affirmation que le facteur de dispersion d'un moteur triphasé peut être déterminé par la mesure des différences de potentiel aux bornes du stator et du rotor, ce dernier étant immobile et portant un enroulement ouvert. La première donne, si l'on tient compte de la chute de tension, la f. é. m. primaire ; la seconde donne directement la f. é. m. secondaire. La première est proportionnelle au flux primaire Φ_1 et la seconde au flux commun Φ (à l'arrêt). Comme le montre la fig. 1, le rapport de ces champs réels n'est pas égal au rapport $\frac{GO}{AO}$; on ne peut donc pas en déduire ν_1 ou τ_1, toute abstraction faite de ce que le rapport des forces électromotrices dépend aussi des facteurs d'enroulement du rotor et du stator. Mais ces facteurs d'enroulement ne sont exactement connus que pour quelques proportions théoriques simples. Une détermination approximative de ces facteurs ne suffit pas, car les deux différences de potentiel mesurées, réduites au même nombre de tours d'enroulement, ne diffèrent que très peu. Les valeurs rigoureuses de τ et de ν ne peuvent être obtenues qu'au moyen du diagramme de la fig. 1 ou du diagramme du cercle.

en désignant par R_1 et R_2 les réluctances magnétiques opposées au flux total primaire ou secondaire.

Par suite de l'égalité des forces magnétomotrices, nous pouvons appliquer les lois de Kirchoff aux réluctances magnétiques. Il vient

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R'_1} \qquad (8)$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R'_2} \qquad (9)$$

et, par suite,

$$\nu_1 = 1 + \tau_1$$
$$\nu_2 = 1 + \tau_2$$

Dans les moteurs triphasés les f. m. m. qui produisent les flux fictifs et les flux de dispersion ne sont pas égales. Il est vrai qu'elles sont produites par le même enroulement et la même intensité de courant, mais elles n'interviennent pas de la même manière, parce que les tours de chaque groupe de bobines sont placés dans plusieurs encoches. Pour pouvoir prendre pour point de départ l'égalité des f. m. m., on tient compte de ce fait dans la valeur attribuée aux réluctances, au lieu d'en tenir compte dans les valeurs des f. m. m.

On peut alors appliquer les lois de Kirchoff. La fig. 2 représente le flux commun Φ pour un

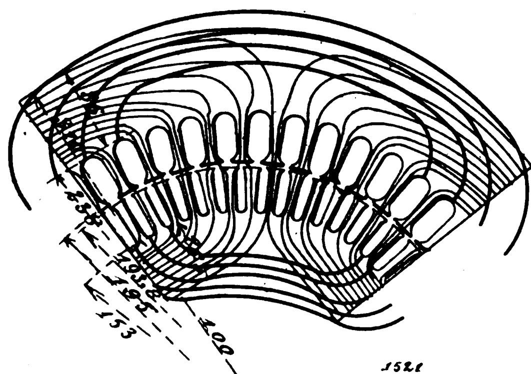


Fig. 2

pôle d'un moteur, la fig. 3, le flux de dispersion autour d'une encoche, comme si chacun d'eux existait seul, c'est-à-dire tels qu'on doit les supposer pour le calcul des réluctances. Ces deux flux produisent un flux résultant fig. 4 que l'on appelle flux primaire Φ_1 dans le stator et flux secondaire Φ_2 dans le rotor. Mais ce champ résultant n'a aucune signification pour les facteurs de dispersion τ ou ν et pour le calcul du moteur, car même dans les facteurs ν (équation 5) ce n'est pas ce champ réel mais sa composante GO ou HO qui intervient.

En supposant que la tension d'alimentation soit sinusoïdale et que la forme dans l'espace

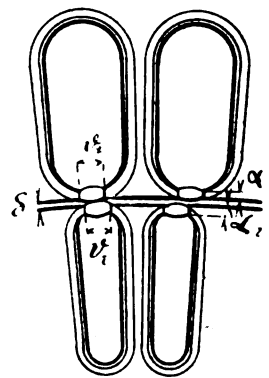


Fig. 3

d'un flux individuel le long de la surface enveloppante intérieure soit sinusoïdale, ce qui a lieu très approximativement pour 3 encoches au plus par pôle et par phase, la f. m. m. totale due aux

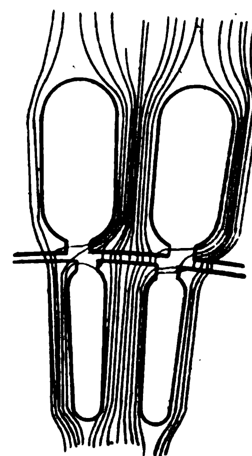


Fig. 4

3 phases d'un moteur triphasé pour une paire de pôles, est

$$\frac{3}{2}\frac{0,4\,\pi I_1 N_1}{p}$$

I_1 désignant le courant
N_1 le nombre de tours pour une phase
p le nombre de paire de pôles.

Par suite le flux fictif total primaire est

$$AO = \frac{3}{2}\frac{0,4\,\pi I_1 N_1}{p R} \qquad (10)$$

Le flux de dispersion autour d'une encoche que représente la fig. 3 n'est produit que par les conducteurs d'une encoche parcourus par le courant.

N_1 désignant le nombre de tours par phase $\frac{N_1}{p}$ représente le nombre de tours par paire de pôles et par phase, ou le nombre des conducteurs par pôle et par phase. Si nous désignons par y le nombre d'encoches par pôle et par phase, $\frac{N_1}{py}$ est le nombre de conducteurs par encoche.

Leur f. m. m. est donc égale à

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{0{,}4\pi I_1 N_1}{py}$$

L'introduction du facteur $\frac{1}{2}$ est nécessaire, puisque chaque conducteur induit la moitié du nombre de lignes de force que produit un tour entier composé de deux conducteurs.

Le nombre de lignes de dispersion autour d'une encoche est donc

$$\frac{0{,}4\,\pi I_1 N_1}{2pyR_n} \qquad (11)$$

en désignant par R_n la réluctance opposée au faisceau de lignes de force autour d'une encoche. Pour obtenir la totalité des lignes de dispersion autour de toutes les encoches d'une paire de pôles, c'est-à-dire le flux de dispersion d'une paire de pôles, il suffit de multiplier par le nombre d'encoches qui, dans le cas envisagé, est $3.2y$.

Le flux de dispersion d'une paire de pôles est donc

$$GA = 3.2y.\frac{0{,}4\,\pi\, I_1\, N_1}{2\,p\,y\,R_n} = 3\,\frac{0{,}4\,\pi\, I_1\, N_1}{p_1\, R_n} \qquad (12)$$

par suite on a

$$\tau_1 = \frac{GA}{AO} = \frac{R}{\frac{R_n}{2}} \qquad (13)$$

Si l'on compare cette expression avec l'équation 6, on voit que la reluctance magnétique opposée au flux de dispersion d'une paire de pôles, rapportée à la f. m. m. $0{,}4\pi I_1 N_1$, est égale à la $\frac{1}{2}$ réluctance magnétique autour d'une encoche, soit

$$R'_1 = \frac{R_n}{2} \qquad (14)$$

La réluctance magnétique du flux de dispersion est rapportée à la même f. m. m. que le flux fictif et il est possible de lui appliquer, ainsi qu'à la réluctance magnétique R du flux commun, les lois de Kirchoff.

Nous avons à calculer les réluctances R et R_n et, pour cela, nous nous appuierons sur un exemple dont les cotes principales sont portées sur la fig. 2.

3. La réluctance magnétique opposée au flux commun

La réluctance R pour une paire de pôles du flux commun se compose (fig. 2) :
de la réluctance R_l de l'entrefer.
— — R_{z_1} des dents du stator.
— — R_{z_2} des dents du rotor.
— — R_{k_1} du corps du rotor.
— — R_{k_2} du corps du rotor.

On a donc :

$$R = R_l + R_{z_1} + R_{z_2} + K_{k_1} + R_{k_2} \qquad (15)$$

Chacune de ces réluctances est égale à la longueur l du chemin suivi par le faisceau de lignes de force dans la partie considérée divisée par la perméabilité μ et la section S. Pour le calcul, on établit le tableau suivant, où toutes les grandeurs sont exprimées en cms. (les cotés de la fig. 2 sont en mm.

	Longueur	Section	Induction B	Perméabilité μ	Réluctance R
Entrefer......	2.0,06	98	3070	1	0,00123
Dents du stator	2.2,2	32	9400	3700	0,000037
Dents du rotor	2.2,04	44	6850	4400	0,000021
Corps du stator	21	2.26	5800	4450	0,000091
Corps du rotor	10	2.19	7930	4200	0,000063
					0,001442

Le flux Φ dont la valeur est tirée de celle de la f. é. m. [1] divisé par la section, donne

[1] $$\Phi_1 = \frac{E.\,10^8}{4{,}44\; n\; BN_1}.$$

Pour ce moteur la tension composée est

$$E = 66{,}5$$

le nombre de tours par phase

$$N_1 = 104$$

et le coefficient d'enroulement par les encoches par phase et par pôle

$$\beta = 0{,}958$$

d'où

$$\Phi_1 = 301.000 \;.$$

l'induction B. La perméabilité μ est tirée de la courbe de la fig. 5. Cette courbe [1], établie pour des tôles de fer doux comme celles que l'on emploie généralement dans la construction des moteurs d'induction a été déduite pour une tension considérée, du flux calculé d'après la f. é. m. et du courant magnétisant I_m calculé d'après les mesures de la puissance wattée, de l'intensité

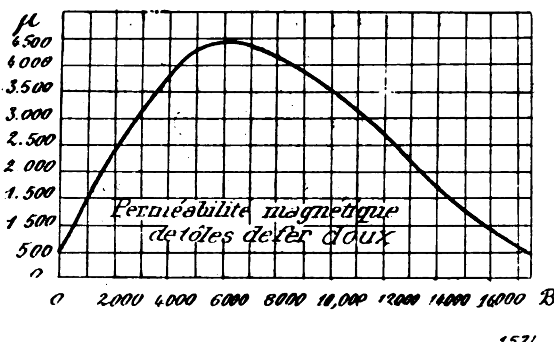


Fig. 5

du courant, et du facteur de forme de la courbe de courant. La perméabilité μ est tirée alors de l'équation fondamentale :

$$\Phi = \frac{0,4\,\pi I_m\, N\mu S}{l} \quad (16)$$

La section de passage d'un pôle est égale au produit de la largeur b du noyau de fer parallèlement à l'axe par la longueur polaire moyenne h. Celle-ci est la moyenne arithmétique entre la longueur polaire au stator et la longueur polaire au rotor. Pour calculer ces longueurs, il faut déduire de la longueur géométrique du pôle non pas la largeur totale θ d'une rainure (fig. 3), mais, à cause de l'épanouissement des lignes de force, la largeur θ diminuée de l'entrefer δ, soit donc $\theta - \delta$.

Si $2r$ représente le diamètre de la surface intérieure du stator (ou de la surface extérieure du rotor) x le nombre d'encoches du stator (ou du rotor) et $2p$ le nombre de pôles, la longueur active h_1 ou h_2 d'un pôle est

$$h_1 \text{ ou } (h_2) = \frac{2\pi r - x(\theta - \delta)}{2p} \quad (17)$$

Pour des moteurs à encoches fermées ou presque fermées dont la rainure est plus étroite que l'entrefer, le 2e terme disparaît et on a

$$h_1 \text{ (ou } h_2) = \frac{2\pi r}{2p}.$$

Pour le calcul de la section de fer active dans les dents ou dans le corps du rotor et du stator, il y a lieu de réduire la largeur géométrique du fer de 12 °/₀ pour tenir compte de l'isolement entre pôles.

Les reluctances se rapportent au circuit magnétique fermé d'une paire de pôles. La reluctance due à l'entrefer est

$$R_l = \frac{2\delta}{S} = \frac{2.0,06}{98} = 0,00123$$

Les réluctances des dents sont :

$$R_{z1} = \frac{2.2,2}{3\ 700.32} = 0,000037,$$

$$R_{z2} = \frac{4\ 400.44}{2.2,04} = 0,000021.$$

Les réluctances du stator et du rotor sont :

$$R_{k1} = \frac{21}{4\ 450.2,26} = 0,000091,$$

$$R_{k2} = \frac{10}{4\ 200.2,19} = 0,000063.$$

La somme des réluctances (tableau 1) donne la réluctance totale du flux commun

$$R = 0,00144.$$

4. La réluctance magnétique opposée au flux de dispersion

D'après l'équation 14, la réluctance du flux de dispersion d'une paire de pôles est

$$R' = \frac{R_n}{2}.$$

où R_n représente la réluctance autour d'une encoche (fig. 3). Celle-ci se compose de la réluctance dans le fer qui entoure l'encoche et de la réluctance de la rainure. Pour les encoches ouvertes, la première est négligeable vis-à-vis de la dernière puisque, aux inductions habituellement adoptées dans les moteurs d'induction, la perméabilité du fer est quelques milliers de fois plus grande que la perméabilité de l'air. Les lignes de force s'épanouissent et la largeur de leur faisceau est plus grande que la largeur du bord de la dent : des recherches

[1] Beaucoup d'électrotechniciens sont habitués à la courbe qui donne l'induction B en fonction des ampèretours par unité de longueur. Ces deux courbes se déduisent naturellement l'une de l'autre. Il est à remarquer que la courbe μ donnée ci-dessus, qui ne correspond pas à une aimantation par courant alternatif, ne passe pas par zéro et a une valeur limite déterminée pour une induction nulle. Il y aurait un intérêt théorique à étudier l'allure de cette courbe pour de très faibles courants d'aimantation alternatifs.

expérimentales seules permettent de connaître la largeur réelle de ce faisceau, comme nous l'avons déjà montré. Au lieu de la largeur α du bord de la dent, nous devons introduire la valeur $\alpha + \theta$.

En appelant b la largeur géométrique du noyau de fer parallèlement à l'axe, la réluctance autour d'une encoche est

$$R_n = \frac{\theta}{(\alpha + \theta) b} \qquad (18)$$

D'après l'équation 14 la réluctance que rencontre le flux de dispersion par une paire de pôles est :

$$R_s = \frac{\theta}{2(\alpha + \theta) b} \qquad (19)$$

Dans le moteur pris comme exemple :

$$\alpha_1 = 0{,}3 \qquad \alpha_2 = 0{,}3$$
$$\theta_1 = 0{,}05 \qquad \theta_2 = 0{,}05$$

d'où

$$R_{s1} = \frac{0{,}3}{2\,(0{,}05 + 0{,}3)\,8{,}2} = 0{,}0524$$

et

$$R_{s2} = 0{,}0524.$$

Outre la dispersion dans les rainures, il existe encore une dispersion autour des têtes des bobines aux deux bouts du moteur. Les lignes de forces qui entourent ici les bobines, sont induites par la même f. m. m. que les flux fictifs. La fig. 6 représente une section d'une tête de bobine et de la partie voisine du noyau de fer actif et de la flasque de protection B. La ligne pointillée montre le chemin suivi par la majorité des lignes de face de dispersion ; le nombre de celles qui passent uniquement par l'air est extrêmement faible. Dans notre exemple, en tenant compte des dimensions aux deux bouts du moteurs, on trouve pour le stator (1) :

$$R_{n1} = \frac{10}{2 \cdot 15} = 0{,}33.$$

(1) Cette dispersion frontale que l'on évaluait autrefois à une trop faible valeur, est souvent évaluée actuellement à une valeur beaucoup trop forte. On trouve des travaux où il est dit qu'elle est de l'ordre de grandeur de la dispersion des encoches. On voit facilement que cela est impossible. En effet, pour les lignes de force qui entourent les encoches, l'entrefer n'a que quelques millimètres, tandis que, les lignes de force de dispersion frontale effectuent dans l'air un trajet de plusieurs centimètres.

Pour le rotor, où la flasque de protection n'intervient pas, on a approximativement

$$R_{n2} = \frac{20}{2 \cdot 15} = 0{,}66$$

Les réluctances magnétiques de la dispersion des encoches et de la dispersion frontales composées donnent, pour la réluctance totale opposée au flux de dispersion dans le stator

$$R'_1 = \frac{R_{s1}\,R_{n1}}{R_{s1} + R_{n1}} = \frac{0{,}0524 \cdot 0{,}33}{0{,}0524 + 0{,}33} = 0{,}0454$$

et dans le rotor

$$R'_2 = \frac{R_{s2}\,R_{n2}}{R_{s2} + R_{n2}} = \frac{0{,}0524 \cdot 0{,}66}{0{,}0524 + 0{,}66} = 0{,}0486$$

Si l'on compare ces valeurs avec celles relatives à la dispersion des encoches, on voit que l'influence de la dispersion frontale sur la dispersion totale n'est pas considérable, ce qui justifie le calcul très approximatif dont on se contente pour la dispersion frontale.

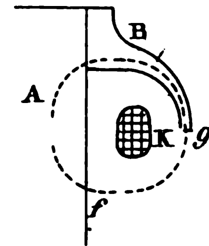


Fig. 6

De ces valeurs on tire :

$$\tau_1 = \frac{R}{R'_1} = \frac{0{,}00144}{0{,}0454} = 0{,}0317,$$
$$\tau_2 = \frac{R}{R'_2} = \frac{0{,}00144}{0{,}0486} = 0{,}0296.$$

D'après l'équation (2) :

$$\tau = 0{,}062$$

et d'après l'équation (1) :

$$(\cos\varphi)_{max} = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0{,}061} = 0{,}89.$$

Les valeurs obtenues sur ce moteur dans des mesures exactes sont :

$$\tau = 0{,}0495$$
$$(\cos\varphi)_{max} = 0{,}91.$$

Les valeurs calculées concordent donc bien, étant donné que nous n'avons employé aucun coefficient numérique déterminé sur d'autres moteurs, et étant donné que, même dans une

fabrication très bien faite, des écarts de 10 à 15 °/₀ dans la valeur de τ pour différents moteurs du même type sont inévitables.

Pour montrer que l'exemple précédent n'est pas choisi d'une façon particulière, nous allons indiquer brièvement l'application du calcul au moteur Kolben cité dans l'ouvrage de Behrend.

On trouve, d'après les cotes indiquées :

	Longueur	Section	Induction B	Perméabilité μ	Réluctance R
Entrefer......	2 0,1	505	2850	1	0,0004
Dents du stator	2.2,73	175	8200	4100	0,0000076
Dents du rotor	2.2,24	142	10100	3400	0,0000093
Corps du stator	35	2.166	4330	4000	0,0000264
Corps du rotor	20	2.96	7520	4200	0,00025
					0,00047

Les dimensions des rainures sont :

$$\alpha_1 = 0{,}03 \qquad \alpha_2 = 0{,}04$$
$$\theta_1 = 0{,}25 \qquad \theta_2 = 0{,}1$$

largeur géométrique du fer 21,8
largeur réelle du fer 19,8
d'où

$$R_{s1} = 0{,}0205$$
$$R_{s2} = 0{,}0164.$$

Nous prendrons les réluctances relatives à la dispersion frontale par paire de pôles égales à celles de l'exemple précédent, car, si les longueurs polaires et les têtes de bobines sont plus grandes, la longueur du chemin suivi par les lignes de force est aussi plus grande.

$$R_{u1} = 0{,}33,$$
$$R_{u2} = 0{,}66.$$

D'où l'on tire

$$R_1' = 0{,}0193$$
$$R_2' = 0{,}016$$
$$\tau_1 = 0{,}0244$$
$$\tau_2 = 0{,}0294$$
$$\tau = 0{,}0545$$

La mesure a donné

$$\tau = 0{,}049,$$

Cet exemple donne donc une meilleure concordance que le précédent.

5. Les différents facteurs qui influent principalement dans la dispersion.

Pour voir facilement quelles sont les grandeurs dont dépendent principalement les facteurs de dispersion τ_1 et τ_2, nous considérerons seulement les termes dont dépend la réluctance magnétique des flux communs et des flux de dispersion. Ce sont :

la réluctance de l'entrefer R_e

la réluctance des rainures R_s.

Ecrivons alors approximativement :

$$\tau_1 = \frac{R_l}{R_{s1}}$$
$$\tau_2 = \frac{R_l}{R_{s2}}.$$

Le facteur de dispersion total τ doit dépendre des mêmes grandeurs et nous poserons approximativement pour les moteurs à rainures

$$\tau = C\frac{R_l}{R_s} = C\frac{\frac{2\delta}{hb}}{\frac{\theta}{2(\alpha+\theta)b}}$$

où

$$\tau = C'\frac{\delta(\alpha+\theta)}{h\theta} \text{ [1]} \qquad (20)$$

Dans les moteurs à encoches fermées il faut commencer par déterminer B approximativement dans la partie métallique qui recouvre l'encoche.

---

(1) Behrend a donné pour le facteur de dispersion la formule $C\frac{\delta}{r}$. En comparant cette formule à la nôtre, on voit qu'il n'a pas tenu compte des rainures. Il n'est donc pas étonnant que les résultats trouvés par cette formule ne concordent pas avec les chiffres observés expérimentalement. Hobart a cherché à rendre cette formule applicable en donnant pour C une courbe où cette constante est fonction de deux grandeurs. Comme les résultats n'étaient pas encore satisfaisants, il a introduit 2 constantes C et C' (3 pour les rotors en cage d'écureuil). L'une de ces constantes est une fonction de la largeur du fer et de la longueur polaire, l'autre est une fonction de l'entrefer et du nombre d'encoches. Ces fonctions ne sont d'ailleurs pas simples et sont représentées par des courbes d'un degré élevé.

Avec ces moyens, Hobert a calculé le facteur de dispersion de 50 moteurs. Parmi ceux-ci, 13 présentent des écarts d'au moins 20 °/₀, 37 présentent des écarts d'au moins 10 °/₀ et 7 seulement présentent des écarts inférieurs à 10 °/₀ entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées. Hobart mentionne bien que la formule de Behrend ne conduit pas à des résultats concordants, mais est d'avis qu'il faut la conserver à cause de sa simpliciié. Nous ne pouvons pas trouver simple une formule qui contient deux fonctions de chacune deux variables, même si ces fonctions sont représentées par la lettre c réservée pour les constantes.

En première approximation, on prend pour μ la valeur 1000 et l'on tire B de la formule

$$B = \frac{0,4\pi I_1 N_1 \mu S}{2pyl_s}.$$

l_1 désignant la longueur et S la section du fer.

D'après la valeur de B ainsi obtenue, on cherche sur la courbe de la fig. 5 la valeur réelle de μ, puis on l'introduit dans l'équation :

$$R_s = \frac{\theta}{\alpha b \mu} \qquad (21)$$

On peut, pour les moteurs à encoches fermées, poser approximativement

$$\tau = C \frac{\mu \delta \alpha}{h \theta} \qquad (22)$$

Les équations (20) et (22) permettent de voir comment varie le facteur de dispersion lorsque dans un moteur on augmente la valeur de l'entrefer en alésant le stator ou en tournant le rotor. Il en résulte une augmentation de δ mais aussi une diminution de α ; on ne peut donc dire à première vue si cela entraîne une augmentation ou une diminution de la dispersion. Dans les moteurs à encoches profondes (α beaucoup plus grand que δ) ou à encoches rectangulaires complètement ouvertes, c'est l'augmentation de δ qui l'emporte et la dispersion est augmentée. Dans les moteurs à encoches fermées ou à encoches très peu profondes, c'est α qui l'emporte et la dispersion diminue.

6. LA DISPERSION DITE EN ZIGZAG.

Dans ce qui précède, nous n'avons pas parlé de la dispersion en zigzag. Dans le sens où l'a prise le docteur Breslauer, à savoir que, sur toute une longueur polaire, des lignes de force vont et viennent toujours entre les dents du rotor et celles du stator, elle n'existe pas, ou tout au moins elle n'existe pas sous une forme qui permette d'en tenir compte. En effet, la réluctance magnétique de ce chemin qui traverse 10 à 30 fois l'entrefer est plusieurs centaines de fois plus grande que le chemin passant par le corps du stator et celui du rotor. Mais il existe bien une dispersion analogue dans le sens que montre la fig. 7, lorsqu'on considère le stator ou le rotor chacun pour soi seul comme siège d'une f. e. m.

Mais comme en réalité tous deux ont une f. m. m. correspondant aux conducteurs de chaque encoche parcourus par le courant, tous deux sont le point de départ de ces lignes de dispersion qui se compensent. Ces lignes de dispersion se distinguent des autres lignes de dispersion (des encoches ou frontales) en ce qu'elles n'appartiennent pas comme ces dernières, au champ primaire ou au champ secondaire, mais traversent aussi l'entrefer et s'y joignent au flux commun formant ainsi

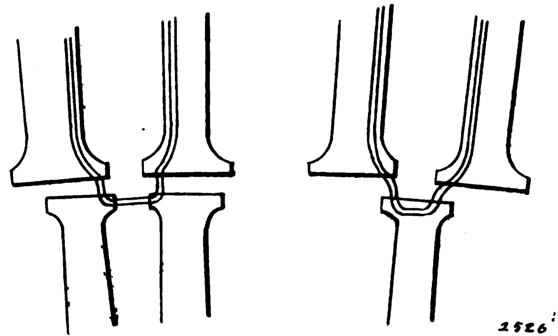


Fig. 7

dans l'entrefer un flux différent du flux commun.

Le diagramme de la fig. 8 montre que cette dispersion en zigzag forme une partie OQ

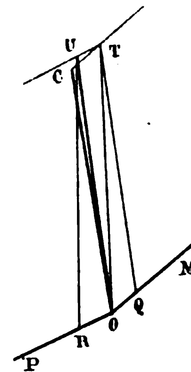


Fig. 8

ou OR de la dispersion primaire OM ou de la dispersion secondaire OP.

Dans l'entrefer, la première se compose avec le flux commun OC et donne la résultante OT. Celle-ci, composée avec OR, donne la résultante OU, flux dans l'entrefer. Comme on le voit, ce flux diffère très peu du flux commun OC ; en réalité, la différence est encore beaucoup plus faible que ne le fait voir le diagramme, tracé avec des proportions inexactes pour plus de clarté. Les dispersions en

zigzag du rotor et du stator sont opposées en direction et à peu près égales, de sorte qu'elles s'annulent ; l'épanouissement des lignes de force qui quittent le bord d'une dent a été déjà pris en considération par l'introduction du facteur $\alpha - \theta$ au lieu de α dans l'équation (18).

7. Le courant magnétisant

L'équation 10 est valable pour le courant magnétisant I_m si l'on introduit pour AO le champ primaire Φ_1 et pour R la réluctance magnétique R_1 du flux primaire.

Le moteur, à vide, est identique à une bobine de self-induction triphasée.

$$\Phi_1 = \frac{0,6\pi I_m N_1}{pR_1}$$

La valeur maxima du courant d'aimantation est donc

$$I_m = \frac{pR_1\Phi_1}{0,6\pi N_1}.$$

On obtient la valeur efficace J_m en divisant par le facteur de forme σ de la courbe de courant :

$$J_m = \frac{pR_1\Phi_1}{0,6\pi N_1\sigma}$$

En général, le facteur de forme du courant varie d'après la forme de la tension imprimée. Pour une tension sinusoïdale, la courbe de courant, relevée expérimentalement sur le

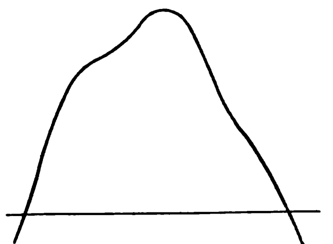


Fig. 4

forme premier moteur pris pour exemple, avait la forme qu'indique la fig. 9. Le facteur de forme est $\sigma = 1,46$.

A vide le flux primaire est égal à la somme du flux commun Φ_1 et du flux primaire Φ'_1 parce qu'il n'existe pas de courant secondaire et que le moteur fonctionne comme une bobine de self induction.

Les réluctances du flux commun et du flux de dispersion sont donc en parallèle et l'on a d'après l'équation 8

$$R_1 = \frac{RR_1'}{R + R_1'}$$

Dans notre exemple on a :

$$R_1 = \frac{0,00144 .\ 0,0454}{0,00144 + 0,0454} = 0,0014$$

d'où l'on tire :

$$J_m = \frac{2.\ 0,0014.\ 301\,000}{0,6.\ 3,14.\ 104.\ 1,46} = 2,97 \text{ amp.}$$

Les mesures faites à vide ont donné pour ce moteur : $J_m = 3,1$ amp.

O. A.

TRACTION

Le troisième rail de Brooklyn Bridge. — *The Electrician* 12 août.

Une innovation dans la disposition du troisième rail a récemment été apportée sur le pont des Brooklyn, par la Brooklyn Rapid, Transit C°. C'est en effet la première fois que l'on emploie, sur un long parcours du moins, le rail Vignole

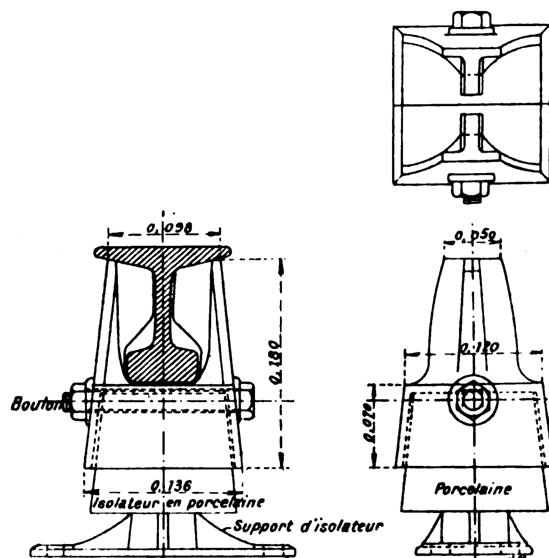


Fig. 1

renversé comme troisième rail. L'avantage est d'offrir au sabot une plus grande surface de contact, mais, l'idée qu'on en eut déjà, ne reçut jamais d'application à cause des difficultés de support du rail. L'adoption du Vignole renversé permet de n'employer qu'un seul rail de contact pour les deux voies, aller et retour.

Le dessin ci-contre montre le dispositif de fixation du rail sur isolateurs de porcelaine. Aucune des formes d'isolateurs, jusqu'ici connues, ne pouvait convenir; la nouvelle maintient le rail avec souplesse, dans la position du troisième rail ordinaire. Un étrier en fonte, en deux parties soutient le patin du rail à ses extrémités. Un large espace est ménagé, autour de l'âme pour prévoir les légères inégalités de hauteur entre le champignon et le patin, dues aux variations du roulement.

L. M.

RADIOACTIVITÉ

Emanations radioactives recueillies par le corps humain, par **Elster et Geisel**. — Physikalische Zeitschrift, 1er novembre.

Les expériences que nous allons décrire ont été motivées par un récent travail de Ashworth, dans lequel cet auteur attribue à l'air provenant de la respiration, une certaine conductibilité due à l'ionisation.

D'après les indications de M. Ashworth, on peut rétablir, en soufflant entre les boules, le passage des étincelles d'une machine de Whimshurst dont on a écarté les électrodes jusqu'à ce que la décharge ne passe plus. Cet auteur a trouvé également, en reliant à un électroscope une baguette métallique isolée, entourée d'un cylindre métallique relié à la terre que la décharge se produit 60 à 70 °/o fois plus vite lorsqu'on souffle de l'air à travers le cylindre.

Notre appareil, destiné à l'étude de la conductibilité de l'air, permettait facilement de vérifier si réellement l'air respiratoire est plus riche en ions que l'air ordinaire. Sous la cloche métallique contenant 8 litres 8 qui recouvre l'électroscope étalonné dont nous nous servons, nous avons introduit de l'air respiratoire et avons constaté qu'en aucun cas cet air ne présente de différences avec l'air normal.

Il y avait donc lieu de penser que les expériences de M. Ashworth avaient été faussées par une source d'erreurs inconnue, et il nous a paru intéressant de rechercher si l'air respiratoire d'une personne ayant manipulé peu de temps auparavant des substances radioactives, ne présenterait pas une conductibilité supérieure à celle de l'air normal.

M. Geisel qui passe tous les jours plusieurs heures dans des locaux où sont placées des préparations de radium, a soufflé de l'air dans la cloche de notre appareil environ 18 heures après avoir quitté son laboratoire.

L'expérience fut renouvellée 2 fois, et dans chaque cas, l'air expectoré avait une conductibilité sensiblement supérieure à la normale.

Voici le résultat d'une série de mesures :

Chute de tension normale en 1 heure avant le début de l'expérience 10,6 volts.

Chute de tension dans l'air expectoré :

Aussitôt après l'introduction de l'air dans l'appareil, 25,4.

après					
2 h.	3 h.	7 h.	24 h.	48 h.	72 h.
27,5	27,8	29,0	24,3	19,4	15,1

Après 72 heures environ, l'air respiratoire fut remplacé par de l'air ordinaire : la chute de tension s'éleva tout d'abord à 16,2 volts par heure, puis tomba à 9,1 au bout de 4 heures, signe que l'appareil avait pris de l'activité induite.

L'accroissement de conductibilité dans les premières heures est un phénomène connu et doit être attribué comme l'activité induite, à la formation du corps nommé par Rutherford « Emanation X »

B. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Sur un dispositif de sécurité pour canalisations électriques à haute tension. Note de M. **L. Neu**, présentée par M. Léauté.

« L'emploi grandissant des courants électriques à haute tension qui seuls permettent les transports d'énergie à grandes distances a rendu malheureusement trop fréquents les accidents de personnes provoqués par ces installations.

» Le plus souvent ces accidents sont causés, non par les appareils conducteurs ou récepteurs de l'énergie, car il est facile de les protéger et de les mettre à l'abri de tout contact, mais bien par les canalisations servant au transport de cette énergie.

» Ces canalisations peuvent être souterraines ou aériennes ; l'emploi des premières est limité par deux raisons : l'une, d'ordre technique, consiste dans la difficulté de les réaliser pratiquement lorsqu'il s'agit de très haute tension ; l'autre, d'ordre financier, est le prix élevé de ce genre de canalisation.

» Pour ces motifs, l'usage des canalisations aériennes s'est répandu ; il le sera de plus en plus, au fur et à mesure de l'augmentation du nombre d'installations et des plus grandes distances à franchir.

» Ces canalisations empruntent forcément les chemins et routes et sont ainsi presque en contact avec le public.

» Une rupture d'un conducteur l'amenant à portée de la main, ou un simple contact entre ce conducteur et un fil télégraphique ou téléphonique peut causer mort d'homme.

» On a cherché à parer à ces dangers par divers moyens : filets de protection ; berceaux métalliques fixés aux poteaux, de façon à recevoir les conducteurs en cas de rupture et à les mettre ainsi au potentiel de la terre ; cloches isolatrices spéciales munies d'interrupteurs automatiques ou cloches montées sur pivot, venant s'infléchir et mettre le conducteur en contact avec un cercle métallique relié à la terre, dès que ce conducteur n'est plus également tendu de part et d'autre de la cloche.

» Tous ces procédés ont l'inconvénient, pour une ligne un peu longue, de nécessiter des appareils nombreux, par conséquent d'un entretien difficile et, par cela même, d'un fonctionnement incertain.

» Nous avons pensé augmenter notablement la sécurité de ce genre d'installations par le nouveau dispositif suivant :

» Chaque ligne est munie en son origine d'un interrupteur disjoncteur dont le déclenchement s'opère automatiquement dans les trois cas d'accidents suivants :

» I. Rupture d'un conducteur :

» II. Mauvais isolement d'un conducteur ;

» III. Contact accidentel entre un conducteur et un fil télégraphique ou téléphonique muni des appareils de protection courants.

» Ce résultat est obtenu en utilisant le principe qui suit :

» Aux deux extrémités d'une ligne, les potentiels des points neutres de la distribution sont sensiblement les mêmes tant que cette ligne est en état normal.

» Au contraire, ces potentiels sont très différents, dès qu'il se produit une rupture d'un conducteur.

» De même, les potentiels des points neutres sont sensiblement les mêmes que celui de la terre tant que cette ligne est en état normal : au contraire, ces potentiels en sont très différents dans le cas des accidents II et III.

» Ces différences de potentiel sont utilisées comme suit :

» A l'extrémité de la ligne à protéger, on relie à la terre, avec interposition d'un parafoudre à faible distance d'éclatement, un point neutre existant dans la distribution ou spécialement créé à cet effet par des bobines de self ou des résistances.

» A l'origine de la ligne on relie également à la terre, avec interposition d'un parafoudre analogue, l'entrée de l'enroulement à haute tension d'un petit transformateur auxiliaire. La sortie de cet enroulement est reliée à un point neutre existant ou à créer.

» On peut commodément employer comme points neutres, les centres d'enroulement à haute

tension des transformateurs ou génératrices.

» La différence élevée de potentiel qui se produit entre les deux points neutres de tête et d'extrémité de ligne ou entre ces points neutres et la terre, en cas de perturbation à la ligne, provoque un passage de courant à travers le primaire du petit transformateur auxiliaire, le ou les deux parafoudres et la terre.

» Le passage de ce courant à haute tension à travers le transformateur auxiliaire se fait sous forme de décharge et ce transformateur fonctionne presque à la manière d'un condensateur.

» Le secondaire du transformateur auxiliaire provoque alors directement, ou plus commodément par l'intermédiaire d'un relai, la mise en action du solénoïde de déclenchement du disjoncteur.

» L'ouverture du disjoncteur se produit instantanément et rend ainsi inoffensive la canalisation où s'est produit l'accident.

» L'emploi des parafoudres n'est pas indispensable, mais a l'avantage d'éviter qu'en marche normale il ne puisse y avoir par la terre des circulations de courant qui, éventuellement, pourraient gêner les communications téléphoniques voisines.

» On peut donner toute autre forme pratique au principe exposé ci-dessus, qui consiste en l'utilisation de la différence élevée de potentiel qui se produit soit entre les points neutres des extrémités d'une ligne à haute tension lorsqu'un des conducteurs se rompt, soit entre les points neutres et la terre lorsqu'un conducteur est mal isolé ou vient à toucher un fil téléphonique.

» On peut remarquer que le dispositif qui vient d'être d'écrit utilise des appareils existant normalement dans toutes installation, tels qu'interrupteur-disjoncteur et transformateurs d'usage industriel, auxquels il suffit d'adjoindre un petit transformateur auxiliaire et un relai, c'est-à-dire deux appareils dont la surveillance et l'entretien sont des plus minimes. »

Diffusion rétrograde des électrolytes. Note de M. **E. Bose**, présentée par M. H. Becquerel.

« M, J. Thovert a communiqué (*Comptes rendus*, t. CXXXIV, 1902, p. 826) quelques expériences sur la diffusion rétrograde d'un électrolyte, réparti primitivement d'une façon uniforme dans un liquide, dans le cas où l'on fait diffuser dans ce dernier un second électrolyte. Il ajoute que ses résultats s'expliquent fort bien par la théorie électrolytique de la diffusion de M. W. Nernst.

» L'auteur de cette Note, en collaboration avec M. R. Abegg, a déjà, en 1899, prédit de tels phénomènes de diffusion rétrograde comme conséquence de la théorie générale osmotique du couple galvanitique de M. Nernst.

» R. Abegg et E. Bose ont établi dans plusieurs Communications, (*Berichte de Schlesischen Gesellschaft für vaterlandische Cultur*, Sitzung von 26. juli 1899 ; *Zeitschrift für vaterlandische Chemie*, t. XXX, 1899, p. 565 ; *physikalische Zeitschrift*, p. I, 1899, p. 17) les équations différentielles pour les cas examinés par M. Thovert. L'intégration de ces équations différentielles a fourni des formules approximatives :

» 1. Pour les quantités diffusées des deux sels. On peut voir directement qu'on doit avoir une diffusion rétrograde comme l'a obtenue M. Thovert, et l'on peut déterminer d'avance le sens dans lequel ce phénomène a lieu.

» 2. Pour les vitesses de diffusion, qui sont changées vis-à-vis de la diffusion du même sel dans l'eau pure. Ces variations peuvent être déterminées d'avance non seulement en signe (accélération ou retard), mais encore quantitativement, comme le montrent des expériences d'Abegg et Bose.

» 3. Pour les différences de potentiel, dans lesquelles M. Thovert voit très justement la cause du phénomène en discussion. Les formules pour les forces électromotrices entre deux solutions, contenant les mêmes quantités d'un sel et ceux quantités différentes d'un autre, sont examinées dans un travail de M. O. Sackur [*Thèse de Doctorat*, Breslau, 1901 (*Zeitschrift für physikalische Chemie*, t. XXXVIII, 1901, p. 129)]. Qu'il me soit permis de citer quelques résultats de M. Sackur pour montrer l'accord très suffisant des résultats expérimentaux avec la théorie approximative (formules données par Abegg et Bose) :

Différences de potentiel	
calculées.	trouvées.
0,0050	0,0051
0,0035	0,0039

Différences de potentiel	
calculées.	trouvées.
0,0021	0,0020
0,0084	0,0078

Différences de potentiel	
calculées.	trouvées.
0,0064	0,0061
0,0124	0,0128
0,0096	0,0096
0,0067	0,0067
0,0042	0,0043
0,0120	0,0120
0,0084	0,0079
0,0050	0,0054

Différences de potentiel	
calculées.	trouvées.
0,0205	0,0209
0,0147	0,0136
0,0096	0,0091
0,0062	0,0066
0,0302	0,0296
0,0225	0,0227
0,0160	0,0159
0,0102	0,0098

« Il me semblait intéressant de communiquer ces résultats parce qu'ils montrent que les résultats des expériences de M. Thovert étaient déjà prévus par la théorie de Nernst et parce qu'ils sont une vérification des conséquences tirées de cette théorie par Abegg et Bose. »

Sur le dosage de la radioactivité temporaire pour son utilisation thérapeutique. **Note de M. Th. Tommasina, présentée par M. H. Becquerel.**

« Poursuivant l'étude du pyro-rayonnement et de la radioactivité temporaire qu'acquièrent des substances quelconques, soumises à son action pendant quelque temps (1), j'avais été amené à rechercher des dispositifs pour augmenter l'intensité du phénomène, non seulement dans le but de rendre plus facile sa production, mais encore pour pouvoir doser soit l'intensité, soit la durée de la radioactivité acquise par les différents corps. Un tel dosage a certainement une importance capitale dans l'utilisation thérapeutique de cette radioactivité qui, n'étant accompagnée d'aucune substance nuisible, peut être introduite dans l'organisme par les voies digestives, ou même directement dans le sang par injections.

» Ce sont les rayons de Rœntgen qui m'ont permis de résoudre le problème. J'ai reconnu que l'intensité et la durée du pouvoir radioactif que les corps acquièrent sont proportionnelles à l'état d'ionisation du milieu, lorsque cet état est provoqué par une émission de rayons X, donc proportionnelles à l'intensité et à durée de cette émission.

» Il suffit d'avoir tout le nécessaire pour la production des rayons de Rœntgen pour pouvoir faire acquérir à une substance quelconque une radioactivité suffisamment intense qui peut durer plusieurs jours avant de disparaître complètement. Même les individus vivants peuvent être radioactivés ; ainsi un jeune moineau a été maintenu en charge pendant plus de 3 heures sans qu'il manisfestât aucun dérangement ni crainte, car le rayonnement Rœntgen ne doit pas frapper le patient ; on peut laisser agir le tube focus dans une armoire entr'ouverte, dirigeant ses rayons vers l'intérieur de l'armoire, l'ionisation de l'air se propageant par diffusion. Un malade pourra donc être activé sur son lit ; il suffira de placer ce dernier sur des supports qui l'isolent du sol et de mettre le malade en communication, par un dispositif approprié selon le cas, avec l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde, dont l'armature extérieure est mise à la terre ainsi que le pôle positif de la bobine d'induction ; entre le pôle négatif de la bobine et l'armature intérieure de la bouteille de Leyde, éclatent des décharges rapides de 1 cm., mais il faut intercaler entre cette même armature et le corps à activer une corde humide, que j'ai remplacée dernièrement par un tube à vide peu résistant, obtenant ainsi une marche plus régulière. C'est le dispositif que MM. Elster et Geisel ont utilisé en 1901 pour étudier la radioactivité induite par l'air atmosphérique sur les corps électrisés négativement (1). Ce système donne une radioactivation plus intense que la pyro-radioactivité et, comme le même dispositif se prête à la production des rayons X, je l'ai adopté. En effet, j'ai obtenu de très bons résultats en

(1). *Comptes rendus*, t. CXXXVIII, p. 1157.

(1). *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, t. XIII, février 1902, p. 113 à 129.

utilisant la même bobine, en fermant simplement le circuit du secondaire sur le tube focus qui agit ainsi dans les intervalles entre chaque décharge sur la bouteille. Avec cette méthode, l'air peut être ionisé au degré voulu de façon que le dosage de l'activation soit parfait et aussi intense que l'on désire, entre des limites assez larges.

» Ont été rendus radioactifs toutes sortes de corps solides inorganiques ou organiques, tels que des fruits, des herbes et des animaux vivants, ainsi que toutes sortes de liquides conducteurs ou isolants. L'on peut donc radioactiver toute substance pharmaceutique d'usage interne ou externe, utilisée pour bandages, compresses, etc., ainsi que pour une diète spéciale les aliments solides et liquides, sans y introduire aucune trace des corps radioactifs connus.

» Certainement on ne peut rien affirmer d'avance sur les vertus thérapeutiques de cette radioactivité, mais il y a pourtant le fait parfaitement établi de l'ionisation produite par toute radioactivité, lequel semble indiquer une influence qui faciliterait ou même provoquerait l'électrolyse. Si la chose est ainsi, ceci ferait présumer une action heureuse pour l'assimilation rapide et plus complète de certains médicaments, comme par exemple le fer dans la cure de l'anémie. En outre, la radioactivité, qui semble la cause des propriétés thérapeutiques de certaines eaux minérales, pourra être accrue par cette méthode, qui peut en donner à celles qui n'en possèdent point. »

Constatation d'une radioactivité propre aux êtres vivants, végétaux et animaux. — Note de M. **Th. Tommasina**, présentée par M. H. Becquerel.

« Dans mes expériences sur le dosage de la radioactivité temporaire acquise par les différents corps [1] je devais faire au préalable des observations électroscopiques aussi exactes que possible, pour reconnaître si le corps à activer n'avait pas déjà une activité propre ou acquise. C'est de cette façon que j'ai pu constater la faible radioactivité que possèdent tous les végétaux fraîchement cueillis, tels que herbes, fruits, fleurs et feuilles, tandis qu'entre les limites du degré de sensibilité de l'électroscope utilisé, les objets du laboratoire, ainsi que les mêmes végétaux desséchés, n'en présentaient que des traces minimes ou plus rien. Il était facile de vérifier que ces traces n'étaient pas de la radioactivité propre car elles disparaissaient après un isolement de 4 jours au maximum.

» Pour reconnaître si les animaux possédaient également une radioactivité propre permanente, j'ai fait construire une cage en treillis métallique en forme de manchon, constituée par deux cylindres concentriques laissant un espace annulaire de quelques centimètres entre eux. Les deux grilles cylindriques étaient fermées en haut et en bas par un disque en métal percé au milieu, pour permettre l'introduction libre du cylindre métallique isolé, fixé sur la tige portant les feuilles sensibles de l'électroscope. C'est sur ce cylindre de métal noirci constituant la capacité de l'électroscope qu'a lieu l'action dispersive due au rayonnement radioactif des animaux qui se trouvent dans la cage dont la forme d'étroit corridor circulaire leur permet de se déplacer tout en restant toujours à la même distance du cylindre disperseur électrisé. La cage contenant l'individu à étudier est ensuite placée dans l'intérieur du grand récipient cylindrique également de métal, noirci autant à l'intérieur qu'à l'extérieur pour empêcher l'action dispersive des rayons ultraviolets, qui fait partie de l'appareil que MM. Elster et Geisel ont inventé pour l'étude de la radioactivité temporaire, appareil que j'ai utilisé dans toutes ces expériences.

» Je n'ai eu encore que le temps de reconnaître l'émission radioactive des oiseaux, mais comme celle-ci, de même que celle des végétaux, se présente avec la plus grande netteté, il ne semble pas y avoir de doutes possibles sur la généralité du phénomène. L'intensité de ce rayonnement que j'ai trouvée plus forte dans les adultes que dans les jeunes, dans les individus en action que dans ceux au repos, semble proportionnelle à l'intensité de l'énergie vitale. Ce phénomène ayant donc une relation très étroite avec la vie pourrait être interprété comme une *bioradioactivité*, et à ce point de vue, son étude donnera sûrement des résultats théoriques et pratiques très intéressants. »

(1) Voir la Note précédente.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(4 *Novembre*)

***Compte rendu du Voyage aux Etats-Unis et à l'Exposition de Saint-Louis*, par M. Marcel Armengaud jeune.**

M. Marcel Armengaud jeune, après avoir annoncé qu'il prend la parole à la place de M. Domange, le doyen du groupe des Ingénieurs ayant fait le voyage, qui est souffrant, et qui l'a prié de le remplacer, rappelle, ensuite, que ce n'est point une délégation de la Société des Ingénieurs Civils de France qui s'est rendue en Amérique, mais seulement une quinzaine de ses membres auxquels le Président de la Société, M. Couriot, avait bien voulu donner des lettres de recommandation pour faciliter l'accès des usines et dont il avait eu l'obligeance d'annoncer l'arrivée en Amérique aux Membres correspondants de la Société, à New-York et à Chicago.

Le départ s'est effectué le 20 août 1904, sur *La Bretagne*, et, le 28, avait lieu le débarquement à New-York. Dans cette ville, les Membres français ont été reçus fort aimablement par MM. Corthell, Sorzano de Tejada et de Lubersac. Ceux-ci se sont mis gracieusement à la disposition du groupe de voyageurs pour leur faire visiter la ville et, notamment, les installations du nouveau métropolitain de New-York (Subway) qui permettra de convoyer 200,000,000 de voyageurs en plus des 700,000,000 que transportent déjà les autres compagnies urbaines, et la nouvelle station de la compagnie Edison « Waterside Power station » qui fournit le courant à la partie Est de New-York.

Une excursion fut même faite le soir de leur arrivée à la plage de Coney-Island où se déversent tous les dimanches 3 ou 400,000 personnes venant de New-York.

Le mardi 30, au soir, le groupe des Ingénieurs français quittait New-York pour Niagara Falls où, arrivés le mercredi 31, au matin, ils visitèrent les deux usines hydro-électriques de la « Niagara Falls Company » sous la conduite de M. Brackenridge, Ingénieur en chef de ladite Compagnie. En outre, ils eurent la bonne fortune de pouvoir également descendre dans le puits de l'usine en construction de la « Canadian Power Company », dont les dimensions et la puissance totale dépassent de beaucoup celle de ses aînés. Cette usine comprendra onze groupes de turbo-alternateurs de 10,000 cv chacun, dont la tension sera de 11,000 volts, et pourra donc fournir 110,000 cv qui viendront s'ajouter aux 105,000 que produisent les deux autres usines.

Quittant Niagara le jeudi 1er septembre, au soir, par le Michigan Central, le groupe français arriva à Chicago le lendemain matin, où il fut fort aimablement reçu par M. Modjeski, Président de la « Western Society of Engineers », de Chicago, et par M. Chanute, Membre de ladite Société et correspondant de la Société des Ingénieurs Civils de France ainsi que par MM. Cravelle et Strobel. Malheureusement, l'établissement d'Armour « Stock Yards » étant en grève, le groupe ne put visiter cet établissement. Par compensation, les voyageurs français furent conduits à la Bourse du Commerce et firent une très jolie promenade en voiture dans le parc de Chicago.

Dans la soirée, M. Jackson les invita à venir voir le réseau de tunnels construits sous les quartiers d'affaires de Chicago par « l'Illinois Chicago Company » où sont logés les câbles des 100,000 téléphones automatiques de la Société. Ces tunnels servent, en outre, à la circulation de wagonnets électriques utilisés pour le transport des matériaux, des marchandises et du courrier.

Le lendemain samedi, dans la matinée, les voyageurs visitèrent les grands ateliers de « Deering Company », où est fabriquée la fameuse moissonneuse-lieuse. Le soir, après avoir pris congé de leurs aimables cicérones et s'être séparés de MM. Raffard, Hardelay et de la Rochette, qui se dirigeaient vers le Yellowstone Park, San-Francisco, etc., ils quittaient Chicago pour Saint-Louis où ils arrivèrent le dimanche matin.

Le séjour à Saint-Louis dura du 5 au 11 septembre et il fut employé par les membres à la visite de l'Exposition.

Le 12, au soir, ils partaient en nombre réduit de ladite ville, car M. Domange père, leur *chairman*, se rendait à la Havane, et deux d'entre eux, MM. Léo et Harlé se dirigeaient vers l'ouest. Sous la direction de M. Bonnier, qui remplit alors les fonctions de *vice-chairman*, ils arrivaient à Cincinnati le 13, au matin, où ils visitèrent une poterie après avoir fait une promenade dans la ville et dans les environs.

Le mercredi 14, les voyageurs quittaient Cincinnati au matin, pour faire un premier voyage de jour. Après avoir traversé une contrée rappe-

lant la Normandie, ils étaient, le soir, à Pittsburg. Ils visitèrent, dans la matinée du jeudi 15, les usines de la « Crescent Steel Company », qui produit une grande quantité d'acier au creuset et d'acier fin. La production de cette usine est de 60 tonnes d'acier au creuset par jour.

Dans l'après-midi, un certain nombre des voyageurs, grâce aux recommandations de M. Corthell, purent se rendre à Homestad où ils assistèrent au spectacle magnifique du laminage des tôles, fers profilés, cornières, etc., travail qui se produit presque mystérieusement, tant les Ingénieurs de l'usine ont poussé l'outillage à un grand degré d'automaticité et de perfection.

Les voyageurs quittaient Pittsburg, le soir, pour se rendre à Washington, siège du Gouvernement américain, où ils séjournèrent jusqu'au lundi 19, visitèrent les principaux monuments: Capitole, ministères de la guerre et de la marine, monument de Washington, bibliothèque du Congrès et firent une excursion au mont Vernon où se trouvent l'habitation et le tombeau de Washington.

Le lundi matin, après s'être rendus à Baltimore, ils traversèrent en voiture la ville, et, notamment, le quartier qui a été détruit par un récent incendie. Dans l'après-midi, les voyageurs prirent le train pour Philadelphie, où ils arrivèrent le soir.

Le mardi 20 fut consacré à la visite des établissements Baldwin où l'on construit près d'une locomotive par jour.

Dans l'après-midi, le groupe de voyageurs se rendait à l'Atlantic-City, grande plage, où se déverse en été la population de Philadelphie, et dont la longueur est de 6500 mètres environ.

Dans la matinée du mercredi 21, les voyageurs firent une tournée en voiture dans la ville et allèrent visiter l'École Industrielle d'Art et de Filature et Tissage où ils furent aimablement reçus par le Directeur principal de l'École, M. Miller, et par M. France, Directeur de l'École textile.

A deux heures de l'après-midi, avait lieu le départ de Philadelphie pour New-York où on arrivait vers cinq heures et traversait le North River pour prendre un bateau de la « Fall River Line » qui remonte de nuit le « Long Island Sund »: Le mardi matin, on débarquait à Fall River, où le groupe prit le train pour Boston.

La journée du jeudi fut employée à visiter la ville et, le lendemain, vendredi 23, les voyageurs se rendirent à Providence où ils se séparèrent en deux groupes; l'un visita les usines de Brown et Sharp, et l'autre, deux usines de peignée de « l'American Woolen Company ».

Là, se terminait le voyage au point de vue des visites industrielles, et les voyageurs quittaient, le lendemain matin 24, Boston, pour Pittsfield où ils arrivaient à trois heures de l'après-midi. De là, ils se rendirent en voiture à Lenox, villégiature américaine, située dans les Berk Ills, où se trouvent de nombreuses propriétés de millionnaires new-yorkais. Le lendemain, dimanche 25, après une promenade en voiture pendant laquelle ils purent admirer toute la beauté du paysage, ils quittaient Lenox et Pittsfield pour arriver à Albany le soir, où l'un des groupes, comprenant six voyageurs, dont M. Bonnier, prit le train le soir même pour aller au Canada. L'autre groupe, après avoir couché à Albany, redescendait l'Hudson, le lundi 26, pour arriver le soir à New-York.

M. Armengaud croit être l'interprète de tous ses camarades en déclarant qu'ils ont tous eu l'impression bien nette de la richesse et de la puissance de ce pays, ainsi que de sa prodigieuse activité.

Parmi les raisons qui ont été données de la richesse et de la prospérité des États-Unis, il y en a une qui semble n'avoir pas été mise assez souvent en lumière, c'est le rôle que jouent, dans le développement de l'industrie, les inventions et les perfectionnements dans les applications mécaniques. M. Armengaud rappelle, à ce sujet, que la loi américaine sur les Brevets d'Inventions est beaucoup plus libérale que toutes les autres lois étrangères, y compris la loi française, et protège mieux l'inventeur qui, seul, peut prendre son brevet et jouit d'un droit de priorité de deux ans avant le dépôt.

En outre, ladite loi n'exige aucun versement d'annuité et ne contraint pas l'inventeur à l'exploitation de son invention, sous peine de déchéance de ses droits, dans un délai déterminé.

En terminant, M. Armengaud déclare que ses compagnons de voyage, et lui, ont reçu partout un excellent accueil, de la part de tous les Ingénieurs et Industriels et, en particulier, des Membres correspondants de la Société, MM. Corthell, Sorzano de Tejada, de New-York, et M. Chanute, de Chicago, auxquels s'était joint M. Modjeski, etc., et il prie les Membres de la Société de bien vouloir se joindre à ses camarades de voyage et à lui pour exprimer, à ces Messieurs, toute leur gratitude et leur adresser tous leurs remerciements.

CONGRÈS ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONAL DE SAINT-LOUIS
(suite)

Discussion sur l'éclairage électrique et sa distribution.

De Fodor montre les différentes influences qui ont conduit aux prix actuels du courant. Le facteur le plus important a été, dans la plupart des cas, la concurrence de l'éclairage au gaz. Pour répandre l'emploi des électro-moteurs, la plupart des stations centrales ont introduit des tarifs bas et, comme le montre l'auteur d'après les chiffres relatifs à 50 villes, le prix du courant pour la force est environ le $\frac{1}{3}$ du prix du courant pour l'éclairage.

Le prix du courant ne varie d'ailleurs pas avec l'heure à laquelle le client consomme. En outre il est difficile de faire comprendre à ce dernier pourquoi le courant de lumière coûte plus cher que celui de la force, quand il est employé ainsi dans un but industriel. L'auteur propose un prix unique pour le courant, variant d'après deux tarifs suivant l'heure à laquelle on consomme. En faisant ces deux tarifs différents l'un de l'autre, on peut éviter les pointes de surcharge considérables qui se produisent actuellement dans toutes les stations centrales d'éclairage.

Gripper trouve mauvais le projet de Fodor qui tend à diminuer le prix du kilowatt pour la lumière et à augmenter le prix du kilowatt pour la force motrice. Il faut, au contraire, abaisser autant que possible le tarif de force.

Crompton pense que la création d'un tarif unitaire comme le propose de Fodor ne peut avoir lieu que par la réduction du tarif de lumière : les sociétés anglaises qui ont les prix les plus bas pour la lumière distribuent les dividendes les plus élevés.

Hammond propose un tarif dans lequel la 1re heure est payée plus cher que les suivantes.

Jona parle des matières isolantes pour câbles à haute tension, et arrive ainsi aux conclusions suivantes :

Chaque diélectrique a une tension de rupture déterminée ; quand la différence de potentiel maxima par unité d'épaisseur est atteinte, une augmentation de l'épaisseur de l'isolant n'augmente pas proportionnellement la tension de rupture du câble. Pour que la résistance à la rupture soit maxima, il faudrait que l'isolant d'un câble soit disposé en couches de constante diélectrique décroissante du conducteur vers la périphérie.

Stern cherche à prouver la supériorité du courant alternatif sur le courant continu. Il attire l'attention sur la destruction des enveloppes de câbles à courant continu à haute tension par les phénomènes d'électrolyse.

Townsend Wolcott fait remarquer que ce n'est guère à craindre puisque, ces câbles ayant généralement un isolement de 1000 mégohms par mille, il faudrait 100 ans pour qu'un câble portant 1000 volts ait été traversé par 1 ampère-heure.

Steinmetz parle de l'arc électrique, et particulièrement de l'arc à magnétite et de l'arc au mercure.

L'arc au carbone n'est pas l'arc typique : l'arc à l'air libre typique est l'arc entre fer et cuivre ou entre leurs oxydes. L'arc dans le vide typique est l'arc au mercure. Ces deux arcs agissent dans certaines conditions comme redresseurs. Pour produire un véritable arc à courant alternatif dans la vapeur de mercure, il faut une différence de potentiel d'au moins 9000 volts. Pour la différence de potentiel plus faible, l'arc au mercure agit comme redresseur.

Blondel donne un résumé de ses expériences sur des charbons à flamme, et particulièrement sur le type de charbons avec mèche minéralisée dont il est l'inventeur.

Le tableau suivant résume les résultats photométriques obtenus par l'auteur avec diverses sources lumineuses :

	WATTS	INTENSITÉ HÉMISPHÉRIQUE MOYENNE
Arc à air libre entre électrodes de charbon. . .	495	700
Arc en vase clos.	768	329
Lampe à arc à magnétite.	385	400
Lumière Bremer électrodes 9A.	495	4814
Charbon Blondel 9A. . .	500	4800

B. L.

Discussion sur les Applications de l'Electricité.

Mordey parle des pertes dans le fer et trouve que les pertes par courant de Foucault sont pro-

portionnelles à l'épaisseur et à la 1,6^e puissance de la fréquence.

Jouaust parle de la « viscosité magnétique », c'est-à-dire le retard de l'aimantation par rapport à la force magnéto-motrice.

Steinmetz a trouvé que la perte d'énergie par hystérésis par cycle est indépendante de la fréquence.

Ford conclut de ses recherches que l'arrondissement du cycle d'hystérésis est dû aux courants de Foucault.

Duddell indique le moyen d'enregistrer les cycles d'hystérésis des transformateurs. On place sur le noyau une bobine auxiliaire ayant peu de tours et l'on relie cette bobine à un circuit d'inductance très élevée et de résistance ohmique très faible. Le courant, passant dans ce circuit est directement proportionnel au flux. Un oscillographe à deux miroirs décrit le cycle d'hystérésis, si l'on fait dépendre le mouvement horizontal du rayon lumineux du courant primaire (forces magnéto-motrices en abscisses) et le mouvement vertical de l'intensité de courant dans le circuit auxiliaire (flux en ordonnées).

Nodon parle des soupapes électrolytiques. Il a observé à la surface de celles-ci une sorte d'hystérésis qui provoque une perte d'énergie.

Scott fait remarquer que le couple d'un moteur à courant alternatif est pulsatoire. Aussi pour qu'une locomotive électrique, équipée avec des moteurs alternatifs, ne patine pas, il faut qu'elle soit assez lourde pour que l'adhérence suffise pour la valeur maxima du couple. Il en résulte qu'une locomotive à courant alternatif devra toujours être plus lourde qu'une locomotive à courant continu. Un inconvénient du système monophasé est, qu'une avarie au transformateur immobilise le train : dans les systèmes triphasés en étoile, l'avarie d'un seul transformateur ne produit qu'une diminution de la puissance transmise.

Lamme indique quelle valeur maxima on peut donner à l'entrefer de moteurs monophasés sans trop abaisser le facteur de puissance à pleine vitesse. Dans le moteur monophasé, le courant déwatté (champ) aussi bien que le courant watté produisent un couple utile, tandis que dans le moteur d'induction le courant watté seul intervient.

Un faible facteur de puissance au démarrage est donc un mauvais signe pour le moteur d'induction et un bon signe pour le moteur monophasé (série).

Rosa, Lloyd et *Reid* indiquent les résultats de leurs recherches sur l'influence de la forme des ondes, sur les indications des compteurs d'induction. Deux alternateurs accouplés mécaniquement furent branchés en série. Le générateur A avait 3 fois plus de pôles que le générateur B et l'on pouvait faire varier l'écart angulaire des deux rotors. En faisant varier cet écart et l'excitation, on pourrait produire un courant alternatif contenant l'harmonique 3, variable en intensité et en phase.

Les indications de compteurs et la fréquence furent mesurées aussi exactement que possible, et la différence de potentiel, la charge et la vitesse furent maintenues constantes. La température des compteurs fut aussi maintenue soigneusement constante. Le résultat des expériences fut que les harmoniques supérieurs influent sur les indications des compteurs, mais que leur influence fait partie des erreurs négligeables.

Adam a étudié la dispersion dans les moteurs d'induction, par le calcul et expérimentalement. La tension correspondante à la disposition, ou f. é. m. de dispersion, varie dans de larges limites quand le rotor tourne. Cette variation dépend beaucoup du genre d'enroulement que porte le rotor. Pour un enroulement triphasé, la variation de la f. é. m. de dispersion est beaucoup plus grande que pour l'enroulement en cage d'écureuil.

B. L.

CONGRÈS DE VIENNE

Economies de courant dans les exploitations de tramways électriques, par M. **W. Klitzing**.

En ce qui concerne la consommation de courant par unités de trafic, les communications reçues comportent des écarts très sensibles : c'est ainsi, par exemple, que la plus petite consommation accusée est de 150 watt-heures par voiture-kilomètre, alors que la plus grande atteint 950 watt-heures ; ces écarts sont d'ailleurs tout aussi considérables lorsque la consommation de courant par unité de trafic est rapportée au kilomètre-voiture calculé ou bien encore au train-kilomètre ; il en est encore de même, lorsque la consommation de courant est basée sur la tonne-

kilomètre ; cette consommation varie, en effet, entre 50 et 105 watt-heures.

Ces écarts considérables dans la consommation de courant conduisent naturellement à rechercher les causes auxquelles ils doivent être attribués.

L'auteur fait immédiatement remarquer que les chiffres de consommation accusés par les différentes exploitations ne peuvent, de prime abord, être comparés entre eux, car la consommation de courant qui, pour telle exploitation, doit être regardée comme réellement économique, dépend avant tout de nombreux facteurs et de nombreuses circonstances spéciales, lesquels, pour permettre une comparaison saine, doivent absolument être pris en considération.

Parmi ces facteurs et circonstances spéciales, il faut citer en premier lieu le profil en long (rampes) et le profil en plan (courbes) des lignes, le plus ou moins grand rapprochement des points d'arrêt, l'emploi de types spéciaux de voitures motrices et de voitures d'attelage, de même aussi les conditions atmosphériques de la ville considérée et surtout la quantité de neige tombant pendant l'année.

Il ne faut pas non plus oublier que dans les chiffres accusés dans les communications, ne sont pas toujours comprises les consommations de courant pour les ateliers de réparation et pour l'éclairage des dépôts, stations, etc. D'un autre côté, il est également possible que le kilomètre parcouru soit, pour les différentes exploitations, établi d'après des bases différentes, ce qui naturellement empêche toute comparaison entre les données statistiques.

Il s'ensuit donc que l'on ne peut en aucune façon déduire des chiffres donnés dans les réponses, si telle exploitation roule au point de vue de la consommation de courant, plus économiquement que telle autre.

On peut cependant se demander s'il n'est pas possible de diminuer, pour chaque exploitation, la consommation de courant jusqu'ici atteinte par elle. Presque toutes les compagnies ayant envoyé une communication, se sont occupées de cette question.

Très peu de compagnies seulement estiment ne plus pouvoir diminuer la consommation de courant atteinte par elles ; la très grande majorité, par contre, espère pouvoir la diminuer encore.

Les moyens que ces dernières compagnies utilisent pour arriver à ce but, moyens qu'elles croient d'ailleurs pouvoir recommander, sont des plus divers : les unes estiment pouvoir réduire leur consommation en se bornant à instruire les wattmen par un chef conducteur et en les occupant de temps à autre dans l'atelier de réparations ; d'autres, au contraire, préfèrent soit employer un système de distribution à 3 fils, soit faire l'application d'un système de primes, etc.

Un nombre relativement considérable de compagnies cependant estiment avoir résolu la question en équipant les voitures motrices de compteurs de courant de façon à surveiller plus minutieusement le travail des wattmen. Cette façon d'opérer a, dans certaines exploitations, été couronnée de succès,

En ce qui concerne spécialement l'établissement de compteurs sur les voitures motrices, les renseignements reçus à ce sujet diffèrent beaucoup les uns des autres. Toutes les compagnies sont cependant d'accord sur un point : celui du bon fonctionnement de ces compteurs, quelles que soient les maisons qui les aient fournis.

Par contre, les prix payés pour ces compteurs présentent des écarts importants : ces prix varient, en effet, entre 72 marks jusque 315 marks par compteur.

L'emplacement des compteurs sur la voiture dépend avant tout des circonstances particulières ; la majorité des compagnies place le compteur sous la banquette, tandis que d'autres le placent à l'intérieur de la voiture sur l'une des parois de tête, près de la boîte de la lanterne ; d'autres même le placent en-dessous de la caisse de la voiture.

L'étalonnage des compteurs a lieu pour chaque compagnie à des périodes très différentes les unes des autres ; ces périodes varient entre 4 semaines et 4 mois. Quelques compagnies ne procèdent pas à la vérification des données du compteur ; mais, dans ce cas, il s'agit surtout de compagnies ne se servant du compteur que pour des essais comparatifs.

La vérification des compteurs a permis d'établir des écarts jusqu'à $\pm$ 10 %.

Les instructions données en ce qui concerne la lecture des compteurs varient également beaucoup : les lectures ont lieu ou bien une fois par jour, lors de la sortie ou de la rentrée de la voi-

ture, ou après chaque voyage, ou encore après chaque changement du personnel de la voiture.

Peu de compagnies seulement ont institué jusqu'ici un système de primes en faveur des wattmen roulant avec économie, l'économie réalisée par ces wattmen étant basée sur les renseignements donnés par les compteurs. Les compagnies qui ont introduit ce système de primes dans leur exploitation en regardent l'application comme très recommandable.

Ces communications ne permettent pas de tirer des conclusions formelles sur l'état de la question; elles montrent cependant que la très grande majorité des compagnies accorde à la question d'économie de courant la haute importance qui lui est due.

Les moyens employés par les différentes compagnies pour résoudre cette question si importante sont encore trop récents pour que l'on puisse en tirer un jugement définitif. Des résultats acquis jusqu'à ce jour, il semblerait cependant que, d'un côté, un contrôle mécanique et continu du wattman, tel que l'établissement de compteurs sur les voitures motrices, et, de l'autre, l'allocation de primes au personnel wattman, sont appelés à amener plus facilement une réduction dans la consommation de courant qu'une instruction soignée ou une surveillance active des wattmen par un personnel de contrôle.

On ne peut nier que l'introduction d'un tel contrôle mécanique occasionne pour toute exploitation, et surtout pour les exploitations importantes, une grande somme de travail en même temps qu'une certaine dépense, mais il est également hors de doute que ces inconvénients seront largement compensés par la réduction de consommation de courant qui en résultera et surtout par le fait que l'on disposera d'un personnel sachant prendre à cœur les intérêts de la compagnie.

ASSOCIATIONS FRANÇAISES DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR AYANT UN SERVICE ÉLECTRIQUE

Règles pour les offres, la fourniture et les essais des Machines électriques et Transformateurs, rédigées par les Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur ayant un service électrique (Amiens, Lyon, Nancy, Nantes), l'Association des Industriels du Nord de la France (Lille) et l'Association normande pour prévenir les accidents du travail (Rouen). — *Édition 1904*).

DÉSIGNATION DE LA PUISSANCE NOMINALE

§ 1. — La *puissance nominale* est celle pour laquelle la machine est vendue; elle sera indiquée par une plaque fixée sur la machine.

L'indication de la puissance se rapportera toujours à la puissance débitée.

Elle sera exprimée : en kilowatts aux bornes dans le cas de courants continu; en kilovolts-ampères avec indication du facteur de puissance dans le cas de courants alternatifs; en chevaux de 75 kilogrammètres par seconde ou en poncelets de 100 kilogrammètres par seconde dans le cas de puissance mécanique (moteurs).

§ 2. — Pour les alternateurs destinés à assurer un service de jour ou un service de moteurs, il y aura lieu de prévoir le facteur de puissance au plus égal à 0, 8. La puissance de l'excitatrice sera déterminée par cette condition (1). (Si avec la puissance débitée par une génératrice à courants alternatifs il est donné une indication sur la puissance absorbée en chevaux ou en poncelets, cette indication se rapportera au facteur de puissance prévu.)

§ 3. — Quand une machine ou un appareil présente par lui-même un décalage de phase, comme par exemple les moteurs d'induction, il est utile d'indiquer ce facteur de puissance, au moins pour la charge nominale.

§ 4. — Outre la puissance nominale en marche continue, qui sera toujours mentionnée, on indiquera sur la plaque de la machine :

La tension normale (composée en cas de courant triphasé);

La vitesse normale et la fréquence, s'il y a lieu;

Et pour les machines à marche intermittente, la puissance à ce régime avec la durée de fonctionnement correspondante.

ÉCHAUFFEMENT

§ 5. — L'échauffement d'une machine électrique doit, avant tout, être compatible avec la conservation en parfait état de l'isolant.

Limites d'échauffement admises.

§ 6. — Les limites maxima admises pour la surélévation de température, mesurée dans les

(1) Dans certains cas il est utile de prévoir, à la commande pour déterminer l'excitation, un facteur de puissance notablement inférieur à 0,8.

conditions et après une durée d'essai spécifiées dans les paragraphes suivants, sont :

a) Pour les inducteurs traversés par un courant continu . . . . 45° C.

b) Pour tous les autres enroulements de machines (sauf ceux toujours fermés sur eux-mêmes) et les fers dans lesquels ils sont noyés [1] . . . . 40° C.

c) Pour les enroulements des transformateurs et l'huile des transformateurs à l'huile. 45° C

d) Pour les circuits toujours fermés sur eux-mêmes........................ 55° C.

e) Pour les collecteurs, bagues et balais 50° C

f) Pour les paliers, bornes et connexions.......................... 30° C.

Pour les machines fermées on pourra tolérer une augmentation de 5° C. sur les chiffres ci-dessus.

Pour les machines à collecteurs destinées à un service continu de jour et de nuit et les circuits à haute tension des machines de plus de 2.000 volts (à l'exclusion des transformateurs) les limites de température ci-dessus seront abaissées de 5° C.

§ 7. — Ces limites d'échauffement supposent une température ambiante ne dépassant pas 35° C. Si la température ambiante devait dépasser normalement cette valeur, les limites d'échauffement ci-dessus devront être réduites de la différence.

Durée de l'essai.

§ 8. — Sauf spécifications contraires, la durée de l'essai à la charge nominale après laquelle on mesurera la surélévation de température sera déterminée pour *les machines* par le tableau ci-après :

$K = \left(\frac{\text{volts-ampères}}{\text{tours par minute}}\right)$.	Durée de l'essai
0 à 5	2 heures
5 à 10	3 —
10 à 30	4 —
30 à 80	5 —
80 à 200	6 —
200 à 500	7 —
500 à 800	8 —
800 à 1.500	9 —
1.500 et plus [1]	10 —

[1] Il est entendu que ces limites ne s'appliquent pas aux fers dans lesquels il n'y a pas de conducteurs noyés.

Les machines à marche intermittente seront essayées suivant les indications portées sur la plaque ou, s'il y a lieu, suivant les conventions spéciales de la commande.

§ 9. — Pour les *transformateurs* la durée d'essai sera celle du fonctionnement. (Il est recommandable de l'indiquer sur plaque.) On peut ainsi distinguer :

a) Transformateurs à service discontinu (distribution de force de jour par exemple) : durée de l'essai à la charge nominale égale à la période de fonctionnement ;

b) Transformateurs toujours sous tension et à charge discontinue (distribution d'éclairage par exemple) : durée de l'essai à la charge nominale égale à la période de fonctionnement, après limite d'échauffement atteinte sous tension à vide ;

c) Transformateurs à charge continue : durée de l'essai jusqu'à obtention de l'échauffement-limite à la charge nominale.

Conditions de l'essai.

§ 10. — Les machines en essai seront autant que possible dans les conditions normales de fonctionnement et de ventilation, c'est-à-dire que la création d'un courant d'air artificiel n'est pas admissible ; les enveloppes et couvercles des machines doivent être en place.

Les dynamos à tension variable et vitesse constante (charge des accumulateurs) seront essayées à *puissance constante* pendant le temps indiqué au tableau du § 8 ; pendant la première moitié du temps, l'essai sera fait avec la tension maxima et l'intensité correspondante, et, pendant la deuxième moitié, avec l'intensité maxima et la tension correspondante.

(1) Pour les machines à collecteur dont le coefficient k est supérieur à 1 500, il y aura quelquefois lieu de convenir d'une durée d'essai supérieure à 10 heures, suivant la destination de la machine. Pour les machines et les moteurs à courants alternatifs de grandes dimensions, une durée d'essai de 10 heures suffira en général.

(A suivre).

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant : A. Bonnet.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LA RADIOACTIVITÉ DE LA MATIÈRE *(suite)* [1]

VII. — RAYONS α

Nous avons montré dans plusieurs articles comment l'absorption du rayonnement des substances radioactives par différents écrans, puis les phénomènes de phosphorescence provoqués par le radium et le polonium, enfin la déviation dans un champ magnétique d'une partie du rayonnement du radium, ont mis en évidence l'existence de rayons d'une nature différente de celle des rayons cathodiques. Ces rayons, que M. Rutherford a désignés sous le nom de rayons α, se rencontrent dans le rayonnement du polonium, du radium et du thorium ; ils sont extrêmement absorbables et n'avaient pas paru, dans les premières recherches, déviables par un champ magnétique.

M. Rutherford [2] a montré que les rayons α sont faiblement déviables par un champ magnétique très intense, en sens contraire des rayons cathodiques. L'expérience a été réalisée de la manière suivante : au-dessus d'une petite boite contenant une couche d'un sel de radium sont disposés un certain nombre d'écrans verticaux formant des fentes par lesquelles le rayonnement peut atteindre un électroscope à feuilles d'or. Dans un champ

(1) Voir *Éclairage Électrique*, tome XXXIX (2 avril 1904 et 30 avril 1904), tome XL (27 août 1904).

(2) Rutherford. — *Phil. Mag.* janv. 1903, p. 113 ; fév. 1903, p. 177. *Physikalische Zeitschrift* 1903 n° 8 p. 235.

**

magnétique intense parallèle aux écrans, les rayons β sont rejetés sur ceux-ci et les rayons α passent seuls : on peut s'en assurer en constatant l'absorption de ces rayons par une très mince feuille de mica. Si les espaces compris entre les écrans sont couverts à moitié par une lame métallique, comme le représente la figure 18, on constate que les rayons α sont arrêtés lorsque le champ magnétique rejette les rayons β sur l'écran B, du côté opposé à la partie obturée des fentes ; les rayons α pénètrent au contraire jusqu'à l'électroscope lorsque les rayons β sont rejetés sur A.

M. Rutherford a conclu de cette expérience que les rayons α sont faiblement déviés en sens contraire des rayons cathodiques et par suite qu'ils sont chargés d'électricité positive.

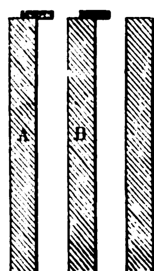


Fig. 18

Cette disposition n'était pas à l'abri de toute objection : en effet, lorsque les rayons β sont rejetés du côté de A, les rayons secondaires qu'ils provoquent peuvent atteindre l'électroscope ; au contraire, quand les rayons β sont déviés en sens contraire, le rayonnement secondaire est arrêté par le petit écran qui ferme à moitié l'ouverture. On pourrait, de la sorte, rendre compte du phénomène en admettant un effet des rayons secondaires.

La disposition photographique suivante [1] a permis de mettre en évidence, d'une façon plus certaine, la déviation des rayons α. La substance radioactive est placée dans une rainure linéaire creusée dans un petit bloc de plomb. A une distance de un ou deux centimètres au-dessus de cette source, on a disposé deux lames métalliques horizontales formant écran et laissant entre elles une fente fine parallèle à la rainure de façon à obtenir un faisceau plan que l'on reçoit sur une plaque photographique. Si la matière active est un sel de radium, on arrête les rayons lumineux au moyen d'une lame d'aluminium d'un centième de millimètre d'épaisseur. L'appareil est placé dans un champ magnétique d'une intensité supérieure à dix mille unités C.G.S, la fente étant mise parallèlement au champ. En disposant horizontalement au-dessus de la fente une plaque photographique, on constate que l'impression est d'autant plus diffuse et plus faible que la plaque est plus éloignée de la fente ; les rayons α sont du reste totalement absorbés après un trajet de six centimètres dans l'air : on place donc la plaque à une faible distance de la fente (1 à 2 cm. au plus). En excitant le champ dans un sens, puis dans le sens inverse, on obtient deux images qui mettent en évidence une légère déviation des rayons α. Pour avoir le sens de la déviation, on établit d'abord un champ très faible, de manière à permettre au faisceau cathodique β de traverser la fente, et on reçoit le rayonnement sur une moitié seulement de la plaque, l'autre moitié étant couverte par un écran ; on déplace ensuite l'écran pour protéger la partie qui vient d'être impressionnée et on établit un champ intense, dans le même sens que la première fois; les rayons β n'atteignent plus la plaque et la nouvelle trace des rayons α s'écarte de leur première image : on constate ainsi qu'elle est déviée dans le sens opposé à celui où se trouve la trace du spectre cathodique. Au lieu de placer la plaque photographique horizontalement, on peut la disposer obliquement en la posant sur le plan qui contient la fente, son arête de contact avec le plan de la fente étant perpendiculaire à celle-ci; dans ces conditions, par renversement du champ magnétique, on obtient deux traces convergentes.

L'épreuve ci-contre (fig. 19) reproduit l'agrandissement d'une photographie obtenue par cette méthode. Cette épreuve a révélé deux phénomènes importants.

En premier lieu, on voit que les lignes sont fines et ne manifestent pas de dispersion appréciable, contrairement à ce que l'on observe pour le faisceau cathodique. *Le rayon-*

[1] Henri Becquerel. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXVI, p. 199 (26 janvier 1903).

nement se comporte donc comme un faisceau simple dont tous les rayons ont même déviabilité magnétique.

En second lieu, l'écartement des deux traces sur la plaque permet de relever les déviations à diverses distances de la fente et de calculer, pour chaque distance à la source, le rayon de la trajectoire supposée circulaire. Le calcul peut être très précis en raison de la finesse de l'image. Cette mesure a prouvé que *le rayon de courbure de la trajectoire des rayons α augmente avec la distance entre la source et les points de la plaque photographique impressionnés par ces rayons.*

Les valeurs du produit R H ont varié depuis 193 000 jusqu'à 341 000 pour des distances des points de la trajectoire à la source, variables de $0^{cm}91$ à $3^{cm}12$; pour une distance de

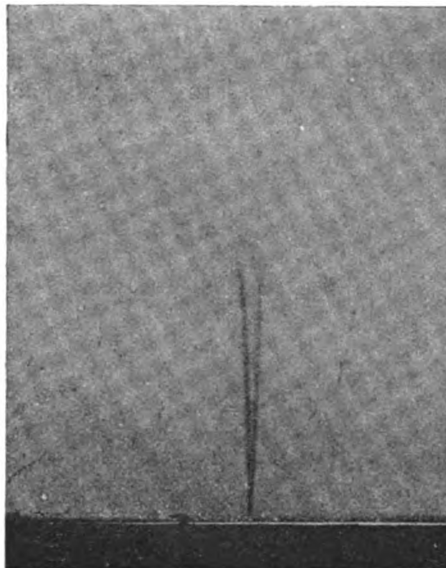


Fig. 19

5^{cm}, M. Rutherford avait trouvé R H = 390 000. Dans le vide, pour une longueur de trajectoire de 8^{cm}, M. des Coudres (1) a trouvé pour le produit R H le nombre 256 000, c'est-à-dire la valeur qu'on obtient dans l'air pour des distances six à huit fois moindres. L'influence de l'air sur la trajectoire des rayons α est donc nettement mise en évidence par cette expérience. M. des Coudres a également pu mesurer la déviation par un champ électrique dans le vide et en a déduit les valeurs suivantes :

$$\frac{e}{m} = 6{,}4 \times 10^3 \quad \text{et} \quad V = 1{,}65 \times 10^9,$$

mais pour établir la nature de l'influence de l'air, il faudrait mesurer la déviation électrique dans l'air et calculer, pour les différents points d'une même trajectoire, les valeurs de $\frac{m}{e}$ et de V. On verrait alors comment ces facteurs varient avec la distance. Cette détermination permettrait de reconnaître si l'on peut attribuer l'augmentation du rayon de courbure de la trajectoire à un accroissement de la masse résultant de l'attraction exercée par les charges positives sur les molécules de l'air.

Identité entre les rayons du polonium et les rayons α du radium. — Il importait, pour

(1) Physikalische Zeitschrift, n° 17, 1903, p. 483.

assimiler d'une façon certaine les rayons du polonium aux rayons α du radium, de déterminer leur déviation dans un champ magnétique. En substituant le polonium au radium dans les expériences précédentes, on obtient des traces superposables à celles que produit le radium (1); seulement la pose doit être prolongée un temps considérablement plus long, à cause de la faiblesse du rayonnement du polonium. Le sens de la déviation des rayons du polonium a été reconnu être le même que celui de la déviation des rayons α du radium.

Les rayons du polonium sont donc identiques aux rayons α du radium, et assimilables à un flux de particules chargées positivement. Ces rayons paraissent identiques aux Kanalstrahlen de M. Goldstein.

VIII. — RAYONS γ ET PHÉNOMÈNES SECONDAIRES

M. Villard (2) a montré qu'en exposant pendant plusieurs jours une plaque photographique au rayonnement du radium, on peut mettre en évidence une partie de ce rayonnement qui n'apparaît pas lorsque la pose est courte et qui est insensible à l'action d'un champ magnétique.

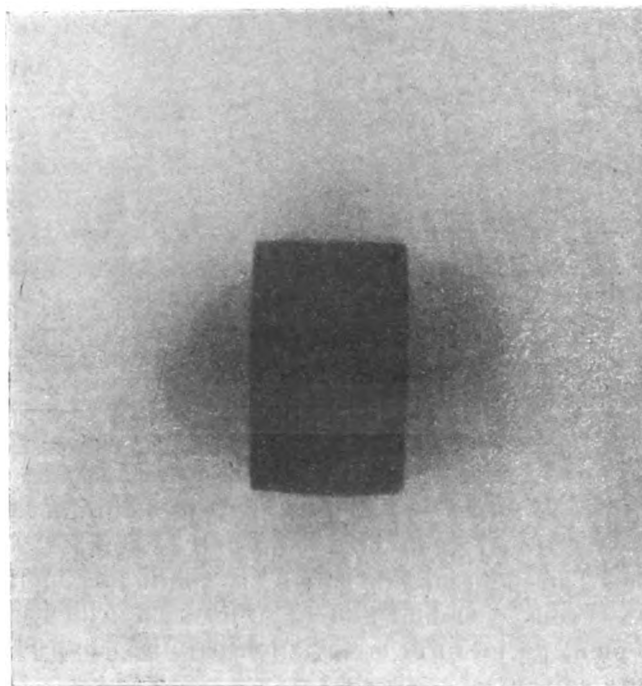


Fig. 20

Les seules données que l'on ait sur la nature de ces rayons, que l'on a appelés rayons γ, sont leur grande pénétrabilité et la faculté qu'ils possèdent de provoquer des rayons secondaires sur les faces d'entrée et de sortie des métaux qu'ils rencontrent. Si l'on reçoit sur deux plaques photographiques superposées un faisceau rectiligne rasant, dont la partie cathodique est écartée par un champ magnétique, on constate que le faisceau γ donne une impression plus forte sur la seconde plaque que sur la première. On peut en attribuer la cause aux rayons secondaires provoqués dans le verre : en effet, les rayons γ traversant la plaque photographique sans être absorbés, n'y produisent aucun effet chimique, et ce sont seulement les rayons

(1) Henri Becquerel. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXVI, p. 431 (16 février 1903).

(2) Villard. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXX, p. 1012 (avril 1900).

secondaires, beaucoup plus absorbables, auxquels ils donnent naissance qui impressionnent la plaque. Cette transformation peut être comparée à celle que l'on fait subir aux rayons lumineux invisibles en les recevant sur un écran phosphorescent.

L'épreuve représentée fig. 20 montre à la fois la grande pénétrabilité de ces rayons et l'existence de rayons secondaires (1); elle a été obtenue en posant sur une plaque photographique, enveloppée de papier noir, un petit bloc de plomb contenant quelques grains de chlorure de radium à l'intérieur d'une rainure pratiquée sur la face supérieure : l'impression a été produite au travers de six millimètres de plomb. L'épreuve montre que la base de la plaque a été le siège d'un rayonnement secondaire intense, et qu'en même temps il sort un rayonnement actif par les faces latérales du bloc de plomb. Ce rayonnement est provoqué par des rayons γ qui ont traversé plusieurs centimètres de plomb.

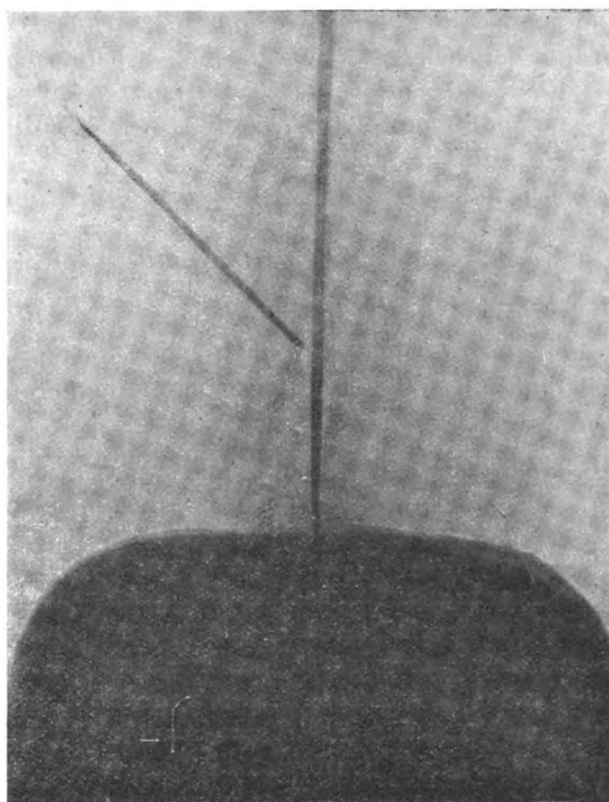


Fig. 21

Dans les expériences précédemment décrites, qui sont réalisées avec de longues poses, on voit presque toujours la trace des rayons γ sous forme de traces rectilignes. Si sur le trajet de ces rayons extrêmement pénétrants, on dispose un prisme de quartz, on constate que le faisceau traverse ce prisme sans déviation ni diffusion et sans absorption appréciable.

Dans l'épreuve reproduite fig. 21 (H. Becquerel), les rayons lumineux émis par le sel de radium n'ont pas été interceptés; on voit à la fois, au sortir du prisme, la trace des rayons lumineux déviés et la trace des rayons γ non déviés.

Dans l'ignorance où l'on est de la véritable nature de ces rayons, on les assimile géné-

(1) H. Becquerel. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXII, p. 371 (18 février 1901).

ralement aux rayons X. Cependant, M. Strutt [1] a mesuré comparativement l'ionisation de différents gaz sous l'action des rayons α, β, γ du radium et des rayons de Röntgen. Alors que pour les trois premiers rayonnements, l'ionisation est sensiblement proportionnelle à la densité des gaz, il n'en est pas de même pour les rayons X. L'auteur émet l'hypothèse que les rayons γ seraient de nature corpusculaire, mais sans charge électrique. Au contraire, d'après M. Paschen [2], les rayons γ seraient chargés d'électricité négative : on peut, toutefois, se demander encore si, dans ces dernières expériences, toutes les précautions ont été prises pour éviter les effets produits par les rayons secondaires que provoquent les rayons γ à l'entrée et à la sortie des écrans.

Le rayonnement β et le rayonnement γ donnent tous les deux des rayons secondaires. L'expérience a prouvé que les rayons secondaires provoqués par les rayons β sont déviables comme les rayons β eux-mêmes et peuvent être assimilés aux rayons cathodiques. D'un autre côté, MM. Curie et Sagnac ont démontré que les rayons secondaires auxquels les rayons X donnent naissance sont chargés négativement et paraissent également identiques aux rayons cathodiques. En l'absence de démonstration plus précise, on admet jusqu'à présent que les rayons secondaires provoqués par les rayons β et par les rayons γ sont de même nature.

L'uranium, le thorium et le polonium [3] émettent des rayons très pénétrants qui semblent être identiques aux rayons γ du radium.

IX. — PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DU RAYONNEMENT DES CORPS RADIOACTIFS

Action de la température sur le rayonnement de l'uranium et du radium. — Nous avons vu, précédemment, que le rayonnement de l'uranium reste constant entre la température de l'air liquide et celle de l'ébullition de l'eau et que la haute température à laquelle est porté l'uranium au four électrique, au moment de sa préparation, n'exe.ce pas sur le rayonnement d'influence permanente. M. Curie a constaté également que la radioactivité du chlorure de radium subsiste à haute température : le chlorure fondu (vers 800°) est radioactif et lumineux. Cependant, si l'action de la chaleur est prolongée, l'activité du sel de radium diminue considérablement et peut tomber au quart de sa valeur primitive. Ce sont surtout les rayons pénétrants qui disparaissent par la chauffe. Au bout de deux mois environ, le produit a repris l'activité qu'il possédait avant la chauffe, de sorte que, comme pour l'uranium, la chaleur ne produit pas d'action permanente sur le rayonnement du radium. On verra, dans un prochain article, quelle est la cause de la baisse temporaire d'activité.

M. Curie [4] a constaté que l'émission du radium subsiste aux basses températures. A la température de l'air liquide, le radium continue à exciter la fluorescence du sulfate double d'uranyle et de potassium, et son rayonnement possède la même intensité qu'à la température ambiante.

Actions chimiques produites par le rayonnement des corps radioactifs. — Le rayonnement des substances radioactives provoque un grand nombre d'actions chimiques. Nous devons citer en premier lieu la réduction des sels d'argent : ce sont les actions photographiques énergiques produites par le rayonnement qui ont permis de découvrir la radioactivité, et elles ont fourni une méthode féconde pour l'étude de ce nouvel ordre de phénomènes.

Sous l'influence du rayonnement du radium, le papier jaunit et s'effrite, le verre et la

(1) Proc. Roy. Soc., t. LXXII, p. 208-210.
(2) Physik. Zeitschrift, t. V, p. 503 (18 sept. 1904).
(3) Henri Becquerel. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXVI, p. 977 (27 avril 1903).
(4) Curie. — Société de physique, 2 mars 1900.

porcelaine se colorent (1); si le verre contient du plomb, il se colore en brun par suite d'une oxydation des sels de plomb; s'il est exempt de plomb, l'oxydation des sels de manganèse donne une couleur violette. Ces colorations sont persistantes.

Les rayons du radium, comme les rayons X, transforment le platinocyanure de baryum en une variété brune moins lumineuse; la lumière ramène partiellement ce sel à son état primitif.

M. Giesel a obtenu un platinocyanure de baryum radifère très lumineux, qui, sous l'action de son propre rayonnement, se transforme en la variété brune en même temps que ses cristaux deviennent déchroïques.

Les sels de radium semblent s'altérer avec le temps, sans doute sous l'action de leur propre radiation. Les cristaux de chlorure de baryum radifère, qui sont blancs au moment de leur préparation, prennent peu à peu une coloration, tantôt jaune ou orangée, tantôt rose; cette coloration disparaît par dissolution.

M. Giesel a montré que les sels haloïdes cristallisés des métaux alcalins (sel gemme, sylvine) se colorent sous l'influence du radium, comme sous l'action des rayons cathodiques. On obtient des colorations du même genre en faisant séjourner les sels alcalins dans la vapeur de sodium (2).

Dans les actions chimiques, nous devons distinguer les réactions exothermiques et les réactions endothermiques; les premières n'ont pas besoin d'autre source d'énergie que la réaction elle-même et il se peut que le rayonnement serve seulement d'excitant. Il n'en est plus de même lorsque la réaction est endothermique; l'énergie doit être nécessairement empruntée à la source radiante. C'est ainsi que l'ozone prend naissance dans le voisinage du radium (M. et Mme Curie). M. Berthelot, afin de mesurer l'énergie empruntée au rayonnement, a étudié les décompositions de l'acide iodique et de l'acide azotique monohydraté, et a reconnu que lorsqu'on intercepte, au moyen de papier noir, la lumière donnée par la source, la décomposition ne se produit pas. C'est donc la lumière émise par le radium qui agit dans ce cas et fournit l'énergie nécessaire pour que la décomposition puisse s'effectuer. Parmi les phénomènes exothermiques, nous pouvons citer la réduction du bi-chlorure de mercure en présence de l'acide oxalique (3). Le rayonnement du radium provoque la formation d'un précipité de calomel. Dans cette expérience, les rayons lumineux ont été interceptés en entourant le tube de radium d'une mince feuille d'aluminium.

Les rayons du radium transforment le phosphore blanc en phosphore rouge (Henri Becquerel). On a pu reconnaître en partie la nature des rayons qui produisent cette action (4): En faisant tomber sur une plaque de phosphore blanc un faisceau de rayons β dévié par un champ magnétique, on voit au bout de quelques semaines apparaître une trace rouge qui coïncide exactement avec la partie de la plaque de phosphore qui reçoit le faisceau dévié. La plaque de phosphore mise ensuite à l'obscurité se conserve sans altération nouvelle. Les rayons γ, très pénétrants, n'ont donné aucune action appréciable; les rayons secondaires, peu pénétrants et très absorbables, émis par le plomb, agissent au contraire assez activement. Il est probable que les rayons α, très absorbables et dont l'action sur la plaque photographique est grande, seraient très actifs pour transformer le phosphore blanc en phosphore rouge. La nécessité d'enfermer le sel de radium dans un

(1) M. et Mme Curie. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXIX, p. 823 (novembre 1899).
(2) Giesel. — Société de physique allemande, janvier 1900.
(3) Henri Becquerel. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXIII, p. 709 (4 novembre 1901).
(4) Henri Becquerel. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXIV, p. 210 (27 janvier 1902).

tube de verre, afin de le préserver de tout accident dans ces expériences, n'a pas permis de constater l'action de rayons α.

Action ionisante des rayons du radium sur les diélectriques liquides et solides. M. J.-J. Thomson avait reconnu, peu de temps après la découverte des rayons X, que tous les corps, solides, liquides ou gazeux, deviennent conducteurs quand ils sont traversés par ces rayons. M. Curie (1) a montré que le rayonnement du radium possède également la propriété de rendre conducteurs les diélectriques liquides, et parmi ceux-ci l'air liquide.

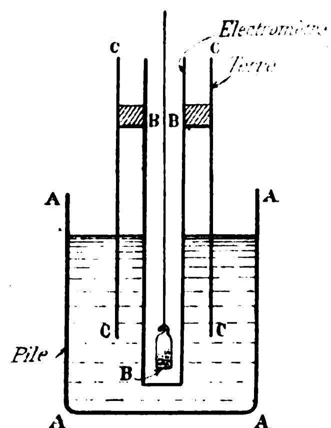


Fig. 22

L'appareil employé par M. Curie pour mesurer la conductibilité prise par les liquides sous l'influence des rayons du radium, se compose d'un vase métallique A contenant le liquide, dans lequel plonge un tube de cuivre mince B (fig. 22). Le vase métallique est maintenu à un potentiel connu et le tube est en relation avec un électromètre. Un tube de cuivre C sert de tube de garde pour empêcher le courant de traverser l'air. Lorsqu'on introduit dans le tube B une ampoule contenant un sel de radium, il s'établit au travers du liquide un courant que l'on mesure en maintenant l'électromètre au zéro à l'aide d'un quartz piézoélectrique.

Dans cette expérience, les rayons actifs sont constitués par les rayons qui ont traversé le verre et le tube métallique et par les rayons secondaires qui prennent naissance sur les faces d'entrée et de sortie des diverses enveloppes.

M. Curie a également fait agir les rayons de Rœntgen en les faisant arriver au travers de la paroi *a b*. Les effets obtenus avec le radium et avec les rayons X sont du même ordre de grandeur.

On peut, avec le dispositif que nous venons de décrire, comparer la conductibilité des gaz et celle des liquides sous l'action du rayonnement du radium. On constate que le courant de saturation est bien plus vite atteint pour les gaz que pour les liquides : en employant un produit très actif, M. et Mme Curie ont reconnu que, pour les diélectriques liquides, l'intensité du courant reste proportionnelle à la différence de potentiel entre les électrodes quand celles-ci varient entre 0 et 450 volts, même quand la distance des électrodes ne dépasse pas 6mm; pour un gaz, dans les mêmes conditions, le courant cesse d'être proportionnel à la tension au-delà de quelques volts et le courant de saturation est sensiblement atteint pour une tension de 100 volts.

Au moyen d'un appareil tout à fait analogue, M. H. Becquerel a reconnu que la paraffine solide devient conductrice sous l'influence des rayons du radium. L'ionisation ainsi réalisée persiste pendant un temps notable après le moment où l'action du radium a cessé et est encore appréciable au bout d'une demi-heure.

Action physiologique du rayonnement du radium sur les substances animales et végétales. — Les rayons du radium exercent une action énergique sur la peau. Les opérateurs qui manient des produits très actifs éprouvent, aux extrémités des doigts qui ont tenu les tubes ou les capsules renfermant ces substances, une inflammation suivie d'une chute de la peau ; la sensibilité douloureuse persiste parfois très longtemps.

MM. Walkoff (2), Giesel (3), H. Becquerel et Curie (4) ont observé sur eux-mêmes des

(1) P. Curie. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXIV, p. 420 (17 février 1902).
(2) Walkoff. — Photogr. Rundschau, oct. 1900.
(3) Giesel. — Berichte der Deutsch chemischen gesellschaft, t. XXXIII, p. 3569.
(4) H. Becquerel et P. Curie. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXII, p. 1289 (3 juin 1901).

effets analogues à des brûlures plus ou moins profondes. L'action du rayonnement du radium sur l'épiderme se produit au bout d'un temps d'autant plus long que l'action a été plus faible et moins prolongée ; on voit d'abord apparaître une tache rouge à l'endroit frappé par les rayons ; souvent une ampoule se forme, et si la peau a été exposée pendant quelques heures au rayonnement d'une substance très active (placée par exemple à l'intérieur d'un tube de verre dans une poche de gilet), il se produit une ulcération qui évolue comme une brûlure très profonde ; la plaie suppure jusqu'à élimination des tissus mortifiés et ne se ferme qu'au bout de plusieurs semaines et parfois même de plusieurs mois. L'épiderme et le derme, totalement détruits, ne se reconstituent que lentement et il reste généralement une cicatrice. La sensibilité revient dans les tissus ainsi reformés.

L'action du radium sur la peau peut se produire au travers des métaux, mais elle est affaiblie. On se garantit contre les brûlures en enfermant la matière active dans un tube de plomb : dans ces conditions, il faut un temps considérable pour qu'il se manifeste une action sur la peau ; c'est seulement quelques semaines plus tard que l'on peut constater une légère coloration brune de la peau, sans altération plus profonde. Cette faible action semble due aux rayons secondaires émis par le plomb.

M. le Dr Danlos a étudié l'action du radium sur la peau comme procédé de traitement de certaines maladies de la peau, procédé analogue au traitement par les rayons X ou la lumière ultra-violette ; l'épiderme. partiellement détruit par le radium, se reforme à l'état sain.

Dans les brûlures profondes, la peau seule est attaquée dans toute son épaisseur (M. Danysz) (1) ; les tissus conjonctif et musculaire sous-jacents ne sont pas atteints, les intestins et les muqueuses sont très peu sensibles. Au contraire, le système nerveux s'attaque beaucoup plus facilement que l'épiderme ; l'action du rayonnement amène, au bout d'une heure environ, des lésions qui provoquent la paralysie et la mort des animaux soumis aux expériences. Le tissu osseux de la boîte cranienne protège efficacement le système nerveux, mais, chez les jeunes sujets, le tissu cartilagineux ne s'oppose pas à l'action du rayonnement. On doit conclure de ce fait que les rayons les plus actifs ne sont pas les rayons les plus pénétrants.

Les rayons absorbables sont également les plus efficaces pour arrêter le développement des bactéries (MM. Aschkinass et Caspari (2), M. Danysz). Une épaisseur d'aluminium de 0m001 suffit pour diminuer l'action du rayonnement.

Les feuilles des plantes soumises à l'action du radium jaunissent et s'effritent (M. Giesel). L'action prolongée des rayons altère les graines au point de détruire en elles la faculté de germer (M. Matout) (3).

M. Giesel a découvert qu'en approchant un sel de radium de la paupière fermée ou de la tempe, on perçoit une sensation de lumière. Ce phénomène est dû, comme l'ont montré MM. Himstedt et Nagel, à la fluorescence des milieux de l'œil sous l'action du rayonnement. Les aveugles dont la rétine est intacte sont sensibles à cette action du radium, tandis que ceux dont la rétine est malade n'éprouvent pas la sensation de lumière.

(*A suivre*). JEAN BECQUEREL.

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXVI, p. 461 (16 février 1903).
(2) Arch. für die Ges. Physiol. Bd. 86, 1901.
(3) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXXXIII, p. 712.

***

LE VIIe SALON DE L'AUTOMOBILE

NOTE SUR LES MOTEURS ET LES CANOTS AUTOMOBILES

Le septième Salon de l'Automobile comprend, à dire vrai, peu de choses vraiment nouvelles. Il y a cependant quelques tendances que nous allons essayer de démêler.

Au Grand Palais sont exposées principalement les voitures et leurs accessoires divers. Les serres du Cours-la-Reine sont réservées pour le moteur lui-même, quelques industries, auxiliaires de sa fabrication, et le canot automobile.

Il faut noter tout d'abord la grande place accordée au moteur à gaz pauvre qui fait des serres du Cours-la-Reine une véritable exposition générale du moteur à explosion. Ce mode de production d'énergie se répand de plus en plus, surtout dans la moyenne et la petite industrie, et ce succès est justifié par sa simplicité, sa commodité d'installation et surtout son économie. Actuellement la partie la plus délicate est encore le Gazogène, car le moteur vis-à-vis duquel il joue le rôle d'un carburateur de nature particulière, à suivi le progrès général.

La construction doit faire face à quelques diffcultés que nous allons énumérer. — La mise en marche est un peu ennuyeuse à cause du manque de tirage auquel pourvoie par la suite l'aspiration du moteur en marche. Ce n'est pas d'un bien grave inconvénient et les constructeurs ont monté sur leurs appareils des ventilateurs à main qui suffisent à amorcer rapidement la combustion. Autrement grave est la difficulté de l'enlèvement des mâchefers. Ceux-ci se forment en assez grande quantité et obstrueraient rapidement le cubilot surtout avec un chauffage au coke. Nous n'avons pas vu de réelle solution de la question. On ne peut songer à ménager une ouverture qui permettrait l'enlèvement direct des mâchefers et le nettoyage de la grille. La colonne de charbon s'écroulerait. On est obligé de briser la masse par en dessous .C'est à cette solution que se sont arrêtés MM. Delion et Lepeu. Notons les précautions nécessaires en ce cas pour assurer la constance de la composition du Gaz :

Il faut que la proportion de vapeur d'eau et d'air sec arrivant sur le combustible soit invariable. Il y a pour cela deux raisons capitales; la première est l'économie et la seconde la nécessité où l'on se trouve d'être fixé sur ce qu'il est possible de demander au moteur. Les constructeurs ont placé leur eau chaude à la partie supérieure du cubilot où la constance de la température assure une même tension de la vapeur d'eau.

Enfin le gaz est lavé et débarrassé des impuretés qu'il serait nuisible de laisser pénétrer dans le moteur, dans une colonne de coke sur lequel tombe de l'eau. Mais les tubulures s'encrassent rapidement et toutes les 100 heures en moyenne un nettoyage est nécessaire. Pour le faciliter on fait des tubulures droites, d'examen facile.

L'ensemble de tous ces organes est d'un encombrement très réduit. On voit même au salon une locomobile constituée par un moteur et son gazogène le tout d'une force de 40 chevaux. Elle ne tient guère plus de place que la machine à vapeur d'une batteuse ordinaire.

Les difficultés que nous avons énumérées expliquent la vogue tardive du gaz pauvre. Si on le compare aux autres sources d'énergie il ressort que c'est de beaucoup la plus

économique. Voici les chiffres garantis par les constructeurs par cheval-heure, chiffres qui ne marquent pas de progrès sensibles.

Pour	6 chevaux	....	700 gr.
—	30 —	....	500 gr.
—	100 —	....	450 gr.

La contre partie est que le gaz pauvre demande des combustibles de premier choix de la classe des anthracites. Enfin il a tous les inconvénients du moteur à explosion et particulièrement le manque de souplesse, chose très préjudiciable dans un moteur industriel.

***

Le moteur au pétrole lampant n'est pas le moindre intérêt du salon qui nous montre où en sont les constructeurs en ce qui le concerne. De sérieuses raisons font désirer de voir l'essence minérale supplantée par son rival. Celui-ci à l'avantage d'une inflammabilité moindre. Rappelons en effet que l'essence s'enflamme au contact d'une allumette et que cette dernière peut être plongée dans le pétrole. L'économie réalisée est considérable. Elle résulte du prix plus bas et de la plus grande puissance thermique de ce dernier. La formule chimique moyenne des hydrocarbures de l'esssence est c^8H^{18} et pour le pétrole $c^{10}H^{22}$ (Pétroles d'Amérique). Nous voyons donc que pour un égal volume de vapeur nous aurons une énergie disponible supérieure d'un quart à celle de la première. Il semble d'ailleurs que la vitesse explosive du mélange d'air et de pétrole soit plus grande qu'avec l'essence. Ceci n'est pas un avantage, bien au contraire. Quoi qu'il en soit les moteurs légers fonctionnant au pétrole sont aisément reconnaissables au bruit qu'ils font et à la façon dont ils sont secoués par l'explosion du mélange détonnant. Mais ces défauts se corrigeront.

***

D'une façon générale, la lutte est ouverte entre les moteurs à grande vitesse et les moteurs à vitesse réduite. Pour une même puissance l'encombrement arrive à être extraordinairement démontré. Actuellement on se sert de vitesses dont la moyenne est de 1,000 tours à la minute, mais les constructeurs adoptent volontiers des vitesses de beaucoup moindres ou supérieures. Ainsi, l'on voit au salon des moteurs Mutel qui fonctionnent à 100 tours et même 80 et la douceur de leur marche fait penser à quelque machine à vapeur : ils sont à deux cylindres. Il est clair, toutefois, que leur volume ne leur permet pas une puissance considérable à cette vitesse qu'ils peuvent d'ailleurs augmenter à volonté.

Dans le sens opposé, nous croyons que le record de la vitesse est détenu par la maison Herdké et Bruneau avec leur moteur léger pour motocyclette. Ce dernier est intéressant pour la solution nouvelle qu'il donne au problème de la bicyclette automobile. Il tourne à 3,000 tours et donne une puissance de 1 chev. 1/4. Il pèse 5 kilos et peut s'adapter sur une bicyclette ordinaire avec quelques transformations qui alourdissent un peu cette dernière. Cependant la motocyclette construite par la maison avec tubes et fourches renforcées ne pèse que 24 kilos. Rappelons qu'une bicyclette pèse 10 kilos et une motocyclette actuelle 50 kilos et davantage. Les constructeurs ont voulu créer un moteur de secours pour le voyageur qui veut se donner le plaisir de se dépenser sans trop de fatigue. L'expérience montrera ce qu'on peut attendre de pareilles vitesses et si l'usure des organes permet de continuer dans cette voie. Ce moteur

est intéressant à un autre point de vue. Il est l'origine passible d'un moteur de ménage dont l'idée hante les chercheurs.

⁂

La plus importante des nouveautés du salon est assurément l'apparition du canot automobile. C'est une industrie toute nouvelle et qui fait entrevoir de très importants débouchés à la fabrication des moteurs à pétrole. La plupart des grandes maisons exposent des modèles spéciaux établis avec un soin qui dénote l'intérêt qu'elles accordent à la question.

Le moteur est monté sur l'hélice avec embrayage à cône de friction. Quant aux formes des coques, elles sont très variables en raison des buts très différents auxquels elles sont destinées. Le canot automobile est établi pour servir de bateau de promenade, de pêche, de course, etc. Nous allons nous occuper tout spécialement du canot de vitesse parce qu'il est en réalité la préoccupation du moment et que l'ambition de tout constructeur est d'avoir le bateau le plus vite.

Pour ce but bien déterminé, constructeurs et théoriciens sont loin d'être d'accord. La preuve en est dans le mémoire que M. l'amiral Fournier faisait présenter tout dernièrement à l'Académie des sciences et dans lequel il recherchait la forme théorique de ces coques de grande vitesse. Ses recherches le conduisaient à des résultats tout à fait dissemblables des opinions générales admises. Cette incertitude théorique se traduit par des hésitations équivalentes dans la pratique. Le problème est très complexe. Plusieurs causes contribuent à produire le travail résistant. Suivant que l'on s'attache à annihiler l'un ou l'autre des effets de ces causes on obtient telle ou telle forme.

Un bateau en marche doit évidemment déplacer l'eau devant lui pour se frayer un passage. Il écarte l'eau latéralement avec une certaine vitesse v. Si m est la masse d'eau déplacée, il se produira une absorption de travail

$$\frac{1}{2} m v^2$$

Si S est la section au maître-couple, V la vitesse du bateau à la seconde, on aura $m = SV$.

v dépend essentiellement de la forme du bateau et on peut la rendre très faible. Si on appelle l la demi-largeur au maître-couple, λ la distance de l'étrave au maître-couple, on peut poser

$$v = k . \frac{l}{\lambda} V$$

k étant un coefficient expérimental

L'expression du travail devient donc

$$\frac{1}{2} K.S.V^3 . \frac{l^2}{\lambda^2}$$

Il est clair que nous négligeons une foule de choses mais c'est là le terme principal dont la valeur s'établit expérimentalement, du reste. Cette formule démontre que le bateau parfait serait infiniment long. Elle justifie également la disposition des constructeurs qui mettent la maîtresse-section à l'arrière et font diminuer le rapport $\frac{l^2}{\lambda^2}$.

Nous avons supposé que v était une vitesse latérale horizontale. Ce n'est pas nécessaire et, théoriquement, ce n'est pas même une disposition recommandable. Les constructeurs qui donnent à leur bateau une forme arrondie dans les parties supérieures,

cherchent au contraire à produire verticalement le mouvement de l'eau auquel s'opposeront des résistances moindres.

Le travail moteur n'aura pas seulement à vaincre les résistances que nous venons d'étudier. Il y aura aussi des pressions hydrostatiques directement opposées au sens de la marche. Nous supposerons (hypothèse justifiable pour des bateaux aux lignes légères) que ces pressions ont une somme constante et égale à cette somme prise quand le bateau est au repos. Dans cet état, les pressions à l'avant sont exactement équilibrées par celles de l'arrière. En marche, ces dernières sont inférieures. Evaluer la valeur de cette différence est impossible, même expérimentalement, mais cependant nous croyons qu'on ne lui accorde pas toute l'attention qu'elle mérite. Une étude un peu poussée montrerait que pour atténuer ses effets il convient, contrairement au résultat que nous avons énoncé plus haut, de reporter le maître-couple à l'avant. Les constructeurs ne le font généralement pas. Cependant voici deux raisons qui luttent en faveur de cette opinion:

1° Des expériences faites sur le tir des canons et des fusils ont montré qu'on obtenait une plus grande tension de la trajectoire en employant des projectiles à deux bouts ogivaux. Il s'agit à première vue de conditions bien différentes mais qui sont cependant comparables. D'une part, nous avons des vitesses qui atteignent 600^{m} et de l'autre, 10 à 12^{m}. Mais l'écoulement des fluides dans le vide laissé par les corps en mouvement se fait avec des vitesses d'ordres comparables.

2° La nature pourrait nous fournir un renseignement intéressant. Si l'on examine un poisson on se rend compte que sa maîtresse-section, si l'on peut parler ainsi, est placée à la partie avant, et certains squales fournissent des vitesses égales à celles qui nous occupent.

La conclusion est que l'arrière d'un canot de vitesse doit être aussi soigné que l'avant et que ses lignes doivent être aussi allongées.

Une autre préoccupation des constructeurs est le bon rendement de l'hélice lequel est mauvais avec les grandes vitesses employées. On sait en effet qu'au delà de 300 tours à la minute ce rendement décroît rapidement. Sans entrer dans les détails sur la fabrication de cet organe nous allons donner les raisons de quelles dispositions particulières: Le travail utile produit par l'hélice est consacré à donner une certaine vitesse effective de recul aux masses d'eau qui rencontrent les ailes. La vitesse de recul dépend uniquement de la vitesse de rotation, laquelle est constante. Il faut donc faire arriver la plus grande quantité d'eau possible sur le propulseur. C'est pour cela qu'on le noie aussi bas que possible. On incline même l'arbre de 10° au-dessous de l'horizontale. Cette inclinaison produit aussi un autre effet. Elle fait sortir le bateau de l'eau et diminue d'autant le travail résistant.

Notons comme curiosité les plans exposés au salon d'un bateau dont le propulseur est une hélice sous voûte. L'appareil est placé à la partie avant, dans une sorte de réduit ovoïde sur la ligne de la quille.

On ne trouve pas trace de certains essais qui firent quelque bruit dans le monde nautique et dont les essais étaient interrompus par la hardiesse des projets qu'ils posaient : Il s'agissait d'utiliser l'inertie de l'eau balayée par les cloisons perpendiculaires au sens de sa marche.

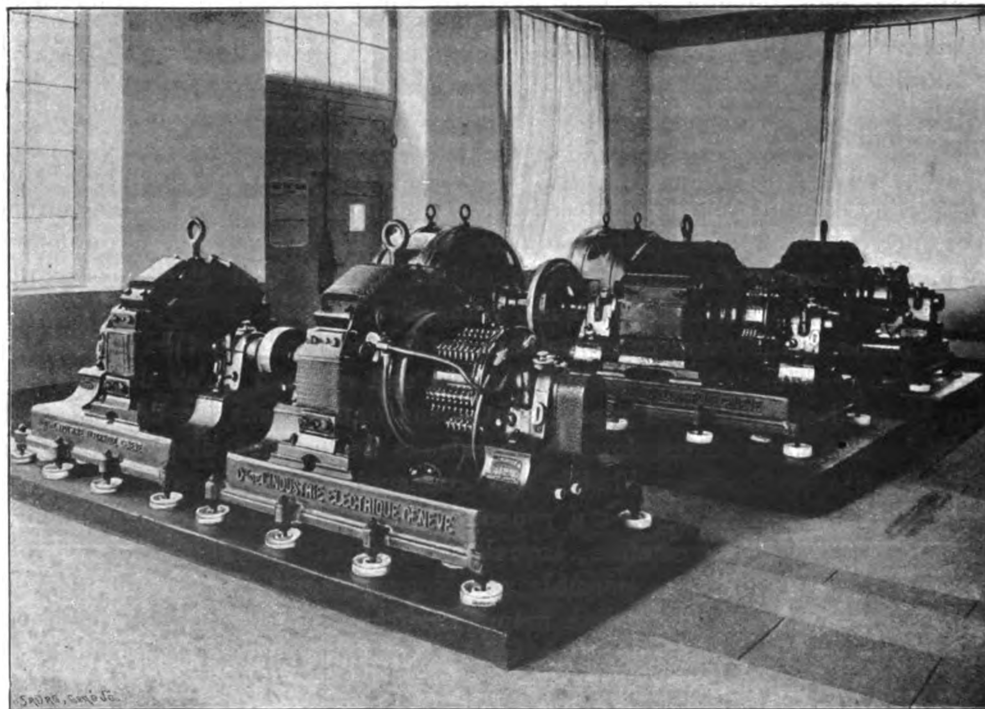
Quant au moteur, tout le monde est d'accord pour vouloir installer à bord des embarcations des moteurs à pétrole lampant, car l'essence devient ici trop dangereuse.

P. Delsuc,
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

LA SOUS-STATION DES CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES VEVEYSANS

La Compagnie des Chemins de fer électriques Veveysans (Suisse) récemment établis loue la force électrique nécessaire à son exploitation sous forme de courant triphasé, à la tension 4.000 volts, 50 périodes. On transforme ce courant triphasé à haute tension en courant continu, à la tension de 750 volts, nécessaire pour le service.

La sous-station établie d'abord par la Compagnie de l'Industrie Electrique et Mécanique, de Genève, comportait 1° deux groupes transformateurs composés de deux moteurs asynchrones triphasés de 100 chevaux et de deux génératrices à courant continu, de même puissance ; 2° un groupe survolteur-dévolteur automatique pour ligne de tramways, destiné au réglage du courant d'une batterie de 375 éléments de 391 ampères-heure, comprenant un



Groupe survolteur-dévolteur automatique de la sous-station des Tramways Veveysans

moteur à courant continu accouplé par manchon rigide à une génératrice pouvant fournir une tension maxima de 265 volts, et supporter un courant maximum de 400 ampères, à la vitesse de 600-750 tours par minute.

Enfin, tous les tableaux de service, des moteurs et de distribution.

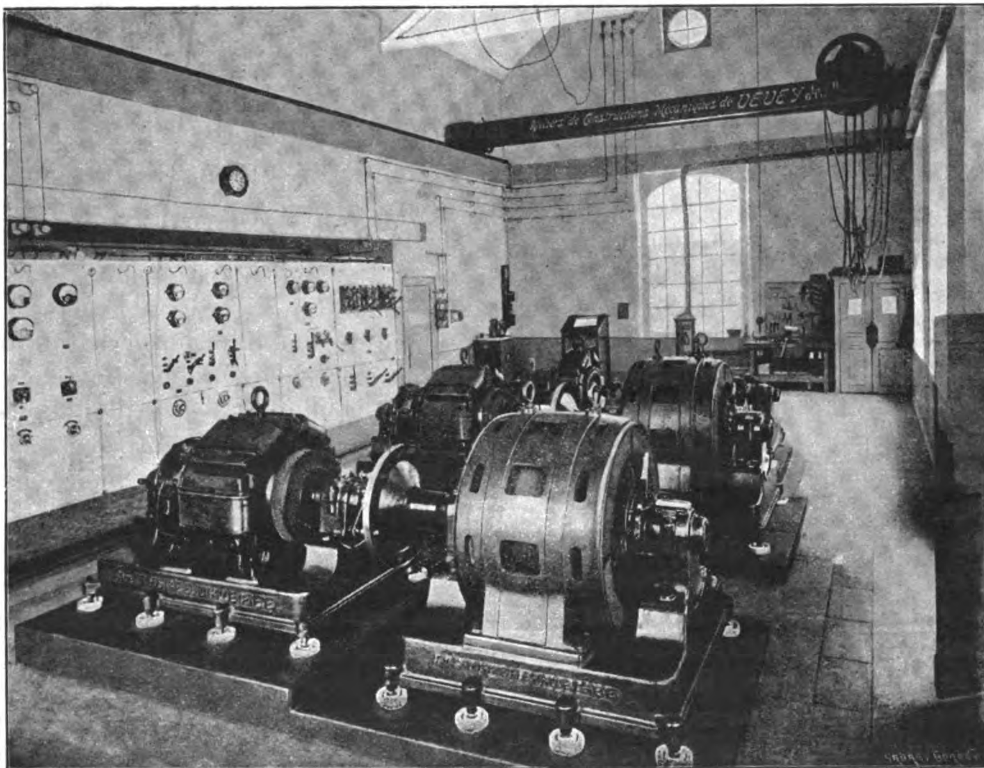
Le développement considérable du trafic des chemins de fer Veveysans et l'agrandissement de son réseau décidèrent la compagnie à augmenter le nombre des unités de sa station transformatrice.

Les groupes transformateurs, désormais au nombre de trois, comportent chacun un moteur asynchrone triphasé branché directement sur le courant primaire à 4,000 volts, tension composée ; chaque moteur est à deux paliers auto-graisseurs, induit bobiné à collec-

teur, avec appareil de court-circuit et dispositif de levage de balais ; il peut fournir à la tension indiquée une puissance 100-120 HP. à la vitesse d'environ 730 tours. Les génératrices sont reliées aux moteurs au moyen de manchons d'accouplement système Raffard, et chaque groupe utilisant une énergie de 81 kilowatts, peut fournir, sur le réseau secondaire, une puissance de 66 kilowatts à la tension de 750 volts.

Le rendement total pour les groupes transformateurs marchant à leur vitesse normale et à pleine charge est de 82 %.

Le survolteur automatique est destiné à permettre, en laissant en service permanent tous les éléments de la batterie, de maintenir la fixité du voltage nécessaire au service du tramway malgré l'état alternatif de charge et de décharge de la batterie.



Groupes transformateurs et tableaux de service de la sous-station des Tramways Veveysans

Le groupe survolteur comprend une génératrice réglée automatiquement et intercalée d'une manière permanente dans le circuit de la batterie. Cette génératrice survolte, tantôt la batterie, lorsque celle-ci est en état de décharge, tantôt la partie du courant de la ligne utilisable pour la charge.

La force électro-motrice de cette machine doit changer complètement de signe et passer d'un maximum positif, à un maximum négatif suivant les besoins. Elle est normalement de 150 volts, pouvant être poussée à 265 volts au maximum pour la fin de charge de la batterie, à 2.7 volts par éléments.

Les variations du champ magnétique de la génératrice du survolteur sont obtenues au moyen d'un régulateur automatique de tension agissant sur une résistance.

Cette génératrice est actionnée par un moteur dérivation de 40 HP. branché sur le réseau de 750 volts, vitesse de 600 à 750 tours.

Le moteur et la génératrice sont tous deux des machines Thury à 6 pôles, accouplées par manchon rigide et montées sur isolateurs en porcelaine.

Cette disposition permet de supprimer un certain nombre d'éléments et remplace très avantageusement les réducteurs de charge et de décharge, puisque la charge peut s'effectuer pendant le service sans surélévation du voltage de la ligne ; elle a constamment donné les meilleurs résultats, et les courbes d'essais ont montré l'excellence des machines. L'entretien général de la batterie, dont tous les éléments sont soumis au même régime, en est grandement facilité.

J. Reyval.

LES COMPTEURS D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Deux modes de taxation sont aujourd'hui usités pour tarifer le prix de l'énergie électrique.

La vente à forfait, la vente au compteur.

Le premier système aurait, semble-t-il, l'avantage de simplifier le service du contrôle, ne nécessiterait que des appareils peu coûteux, tels que : basculateurs ou limitateurs de courant, peut-être même aucun. Il a acquis la faveur de la plupart des exploitations hydro-électriques régionales où les frais généraux ne varient pas sensiblement avec la puissance développée à l'usine. Quant au client, il se persuade que ce procédé de la Société est libéral et généreux.

Les watts-heures-mètres qui offrent une base de taxation précise, rationnelle, donnent aux abonnés l'avantage de ne payer strictement que l'énergie utilisée par eux. Ils fournissent le moyen de réaliser des économies sur une énergie aussi docile à commander et permettent, en outre, des installations d'éclairage complètes, sans astreindre le client à n'allumer que deux ou quatre lampes à la fois.

Dans le cas de vente de force motrice, le tarif à forfait ne peut être avantageux que pour les industriels qui n'utilisent pas d'une façon constante, la puissance normale de leur moteur, pendant les 8760 heures de l'année.

La société de Jonage à Lyon avait d'abord employé le tarif de 720 fr. le cheval-an pour les petits moteurs, et de 360 fr. pour les moteurs de 20 chevaux ; elle l'a remplacé par un tarif au compteur gradué suivant la puissance.

L'industrie du gaz, cette rivale de l'électricité pour l'éclairage, n'applique que le tarif au compteur.

Il semble que de plus en plus chacun ne veuille payer strictement que ce qu'il consomme et accueille avec faveur tout moyen proposé pour réaliser ce but. Le compteur rentre de plus en plus dans nos mains et son emploi tend à se généraliser dans l'industrie électrique. Mais, à cette fin, il faudra construire des compteurs consommant peu d'énergie, sensibles, précis et infraudables et donnant des garanties à la fois aux secteurs et aux abonnés.

Nous allons en particulier décrire le compteur Aron.

Le compteur Aron est du type à intégration continue et à servo-moteur. Il se compose essentiellement de deux horloges identiques à balancier magnétique. Ces deux horloges sont reliées par un mécanisme qui mesure leur vitesse relative, cette vitesse étant, nous le verrons plus loin, proportionnelle à la puissance à mesurer.

Si nous enlevons l'enveloppe-couvercle, qui ne laisse apparaître normalement que les cadrans enregistreurs et la pointe d'un fil à plomb servant à l'installation, nous apercevons (fig. 1) les deux balanciers magnétiques d'égales longueurs.

Chacun de ces balanciers est terminé à son extrémité par une bobine plate à fil fin et docile au-dessus d'une autre bobine fixe.

Les bobines mobiles à fil fin sont traversées par un courant pris en dérivation aux bornes du circuit d'utilisation, cette dérivation, d'une très grande résistance, comprend aussi une résistance fixe que l'on voit en A.

Il est tout en *constatan*, métal dont la résistance est très peu variable avec la température. Dans le cas de courants alternatifs, un double enroulement sectionné diminue sa self-induction et sa capacité.

Les bobines fixes sont montées en série sur le circuit d'utilisation, elles sont constituées par un même nombre de spires, mais sont enroulées en sens inverse, d'où il résulte que leurs champs de même intensité ont une direction opposée.

Si nous supposons l'appareil branché sur le réseau fonctionnant à vide, les deux horloges marchant synchroniquement n'auront pas de vitesse relative, et le mécanisme qui les unit ne sera pas intéressé ; si maintenant nous fermons le circuit d'utilisation, l'énergie se consomme, l'intensité crée un champ dans chacune des bobines à gros fil, chacun de ces champs exerce une action sur le mouvement de la bobine correspondante à fil fin, et l'une des horloges se met à avancer pendant que l'autre retarde. Le mouvement relatif des deux horloges, proportionnel à la puissance du courant comme nous allons le voir, entraîne le premier mobile d'une minuterie actionnant une série d'aiguilles sur des cadrans enregistreurs, analogues à ceux employés dans les compteurs d'eau et de gaz.

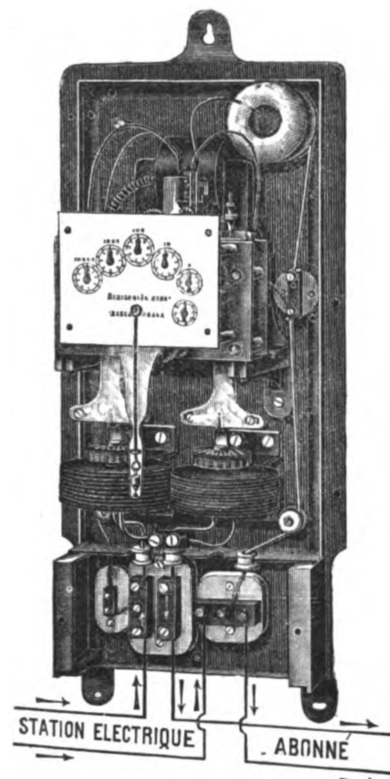


Fig. 1
Nouveau compteur Aron (vue intérieure).

n étant le nombre d'oscillations du pendule simple et k une constante, on a :

$$n^2 = kg ;$$

dans le cas du pendule magnétique, l'action électrodynamique mesurant la puissance s'ajoute à la gravité dans l'un des pendules et modifie le nombre d'oscillations suivant une formule :

$$N_A^2 = n^2(1 + KW)$$

W étant la puissance,
d'où

$$N_A = n(1 + KW)^{\frac{1}{2}}$$

. . . .

tandis que dans l'autre pendule elle diminue le nombre d'oscillations suivant la formule :

$$N_R = n(1 - KW)^{1/2}$$

d'où

$$N_A - N_R = nKW.$$

La différence du nombre d'oscillations est donc constamment proportionnelle à la puissance à mesurer ; en intégrant dans un temps donné, on a l'énergie.

Cette disposition de balanciers oscillants mus par un servo-moteur donne au compteur Aron une sensibilité infinie ; les frottements extrêmement réduits, et invariables avec la charge, n'influencent pas la constante de l'appareil qui reste la même à toutes les puissances.

L'absence de fer et la disposition des bobines séries, enroulées en sens inverse le mettent à l'abri des influences perturbatrices extérieures, et le rendent infraudable, qualité très importante.

Parmi les dispositifs mécaniques adoptés nous signalerons, celui d'un différentiel distribuant aux deux horloges des couples moteurs égaux, celui d'inversion de marche des balanciers, et celui du remontage automatique électrique.

Inversion de marche des balanciers. — Le synchronisme des balanciers étant pratiquement très difficile à réaliser, on a obvié à cet inconvénient en inversant successivement le sens de leur marche ; toutes les dix minutes le sens du courant est inversé dans les bobines à fil fin, d'où il résulte que l'horloge qui précédemment avançait retarde, et vice versa. L'erreur résultante de l'asynchronisme est ainsi compensée.

La figure 2 montre en x le distributeur qui peut tourner autour de son axe et sur lequel frottent 4 petits balais. La roue h, qui reçoit son mouvement du ressort moteur, bande un ressort placé en l, l'engrenage s étant retenu par un levier r, ce dernier calé sur le même arbre que le levier V. A un moment donné, une came dégage le levier v et par conséquent r ; le ressort l se détend, tandis que l'engrenage P fait vivement tourner d'un demi-tour le distributeur x. Les organes se retrouvant placés comme précédemment, l'opération se reproduit périodiquement. A chaque inversion correspond un embrayage approprié qui permet au compteur de continuer son intégration.

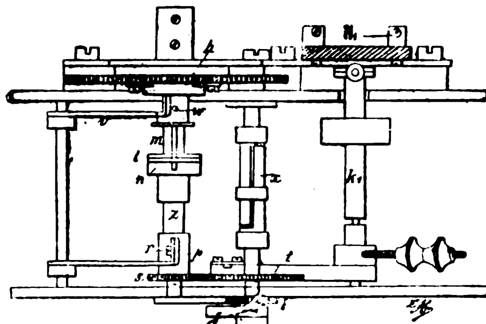


Fig. 2

Remontage électrique. — Le remontage électrique est obtenu au moyen d'un électro-aimant Q ; son armature b en fer doux peut tourner autour de son axe C (fig. 3).

Le circuit de l'électro-aimant fermé par le commutateur oscillant k appelle son armature dans la position horizontale ; dans ce mouvement, il enroule le ressort moteur que le cliquet F maintient armé, mais une butée ayant fait osciller le commutateur K, le circuit de l'électro-aimant est coupé et l'armature revient lentement à sa position primitive ; le courant se rétablit alors brusquement et l'opération se reproduit automatiquement indéfiniment.

Ces dispositifs qui relèvent de l'horlogerie sont composés d'organes très simples et interchangeables, construits avec une grande précision ; leur fonctionnement est irréprochable.

Le compteur Aron se construit pour toutes puissances, en courant continu et alternatif; on peut même dire qu'il est dans ce cas, un des mieux placés pour donner des indications précises ; l'absence de fer, le faible enroulement des bobines à fils fins, l'enroulement spécial de la résistance fixe lui donnent une self-induction et une capacité négligeables et le rendent comparable à un électrodynamomètre.

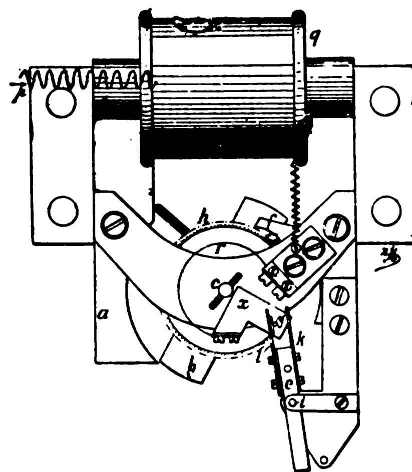


Fig. 3

Dans le cas d'une distribution 2 fils à courant continu ou alternatif, il se monte comme un wattmètre. Ci-contre, le schéma des connexions dans le cas d'une distribution en triphasé à haute tension. La société Aron a prévu les cas de distribution à 3 et à 5 fils à ponts inégalement chargés.

Il faut remarquer que le compteur à 3 fils donne seul la mesure exacte de l'énergie

$$EI + E'I' \qquad (1)$$

tandis que les autres donnent :

$$\frac{(E + E')}{2}(I + I') \qquad (1)$$

La formule est vraie pour les ponts également chargés, mais elle est de plus en plus inexacte à mesure que le déséquilibrage augmente.

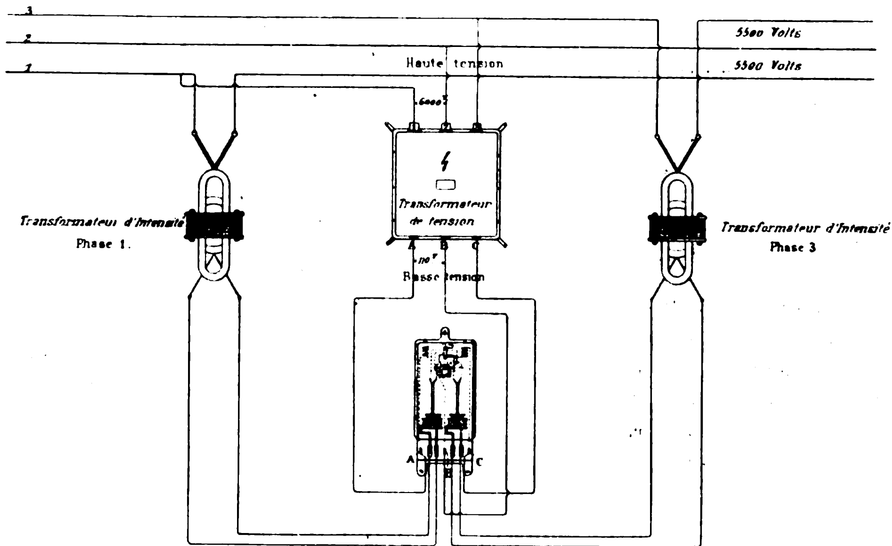


Fig. 4

La Cie des compteurs Aron construit également un compteur à double tarif, intéressant pour les stations centrales qui généralisent ou qui seront amenées à généraliser ce procédé.

Par son originalité, il mérite de trouver ici une description sommaire (fig. 4).

L'appareil comprend sur la droite un compteur ordinaire, sur la station centrale et sur la

gauche une horloge électrique donnant l'heure et remontée électriquement. Au-dessous de l'horloge, deux cadrans présentent leurs 24 divisions à leur index. L'index de l'un indique l'heure de mise en vigueur du plein tarif, tandis que l'index de l'autre indique l'heure de la fin de ce tarif. Le dispositif rappelle celui des réveille-matin aux heures indiquées par les index; un train d'engrenage qui multiplie ou démultiplie les indications du compteur est embrayé ou débrayé sur la minuterie par l'intermédiaire d'une petite bielle *b*.

Les compteurs que nous venons de décrire doivent à leurs dispositions particulières : une faible consommation qui ne s'élève, remontage compris, qu'à une moyenne de 1 w. 2 à 1 w. 5 au lieu de 3 w. ou plus.

l'enregistrement du plus faible débit, le couple de démarrage étant nul ;

la permanence de leur exactitude (sa constance est garantie, et les appareils sont livrés fermés et plombés);

d'être infraudables, grâce à l'absence de fer et à la disposition de ses bobines.

Léo Trouilhet.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

***Les causes de déformation des courbes de tension dans les machines à courants alternatifs.* — Wangemann.** — Electrotechnische Zeitschrift, 15 Septembre. *(Suite.)*[1]

Quoique la courbe Z contienne des harmoniques pairs, il ne peut y avoir dans la f. é. m. que des harmoniques impairs, parce que le produit de Z avec J_{arm} et la différenciation de l'expression :

$$\frac{d\,Z\,J}{dt} = Z\frac{d\,J}{dt} + J\frac{d\,Z}{dt}$$

ne peuvent donner que des coefficients impairs.

Nous avons jusqu'à présent rassemblé en Z les deux actions de l'impédance et de la réaction d'induit. Si l'on veut décomposer la grandeur Z elle-même en M_{arm} et L_{arm}, il faut rendre la self-induction extérieure assez grande pour que les variations de L_{arm} puissent être négligées en comparaison. On trouve alors M_{arm} en introduisant dans la dernière équation M_{arm} au lieu de Z. Nous n'avons envisagé que le décalage résultant des causes intérieures : nous allons maintenant considérer aussi le décalage dû au circuit extérieur et supposer les valeurs de la self-induction et de la capacité du circuit extérieur constantes et telles que les variations de l'impédance intérieure puissent être négligées. Si la f. e. m. peut être exprimée en série de Fourier et s'il y a dans le circuit d'utilisation une self-induction importante, le courant est donné par la formule :

$$i = \frac{E_1}{\sqrt{W^2 + 4(\pi n L)^2}} \sin(2\pi n t + \alpha_1) + \frac{E_3}{\sqrt{W^2 + 36(\pi n L)^2}} \sin(6\pi n t + \alpha_3) + \frac{E_5}{\sqrt{W^2 + 100(\pi n L)^2}} \sin(10\pi n t + \alpha_5) + \ldots \text{ etc.}$$

Cette formule montre immédiatement que l'amplitude du xe harmonique peut être exprimée par le quotient :

$$\frac{E_x}{\sqrt{W^2 + 4x^2(\pi n L)^2}}$$

et doit être d'autant plus petite que x et l sont plus grands.

La courbe de courant se rapproche donc d'une sinusoïde, comme le montre la fig. 1. Si dans la formule précédente, L disparaît entièrement, les

(1) Voir *Eclairage Electrique* du 26 novembre 1904.

amplitudes du courant sont proportionnelles à celles de la tension. Elles varient d'une façon proportionnelle au carré de L.

Voyons quelle influence exerce le décalage du courant sur la courbe de tension. Pour sim-

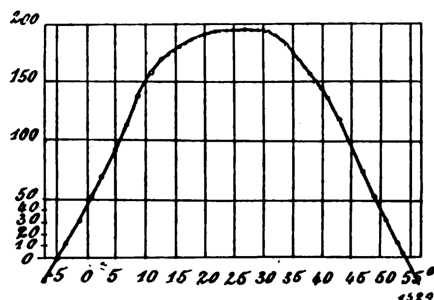


Fig. 1

plifier, faisons l'hypothèse suivante : supposons que la courbe de f. e. m. soit approximativement sinusoïdale, que le courant soit décalé de 90° en arrière de la tension et ait, comme nous l'avons déjà dit plus haut, une forme purement sinusoïdale. Si le flux inducteur N est constant, la f. e. m. dans le balai, pour un angle φ, est E sin φ, et le courant est :

$$\frac{E \cos \varphi}{W^2 + (\pi n L)^2}.$$

Pour déterminer la direction et l'action du flux,

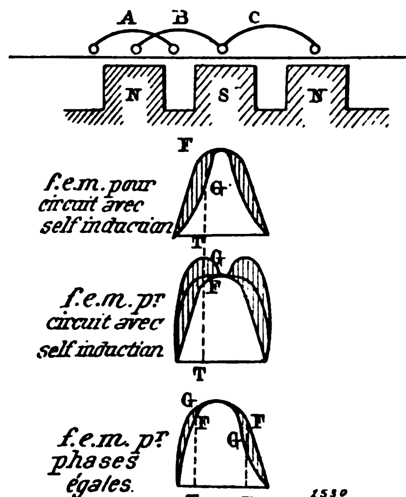


Fig. 2

il faut nous rappeler que, lorsque que le côté de la bobine passe en face le milieu d'un pôle, la f. e. m. est nulle et le courant induit maximum. Le flux de réaction d'induit est maximum et agit sur la courbe de f. e. m. en déplaçant le point où elle est nulle et en s'opposant à son accroissement. Lorsque la bobine atteint la position B, la f. e. m. a sa valeur maxima, ainsi que le courant induit, les contre-ampère tours sont nuls. Le maximum de f.e.m. est donc le même que pour la marche à vide de la machine. L'action des contre ampère-tours augmente petit à petit et devient d'autant plus grande que la bobine est plus près de C, etc. La fig. 2. représente l'allure du phénomène : TF représente par exemple la valeur instantanée de la f. e. m. à vide, FG l'effet des contre-ampère-tours et TG la tension pour un courant inductif. Ce schéma montre que la courbe est plus pointue, sa surface est plus petite et la valeur maxima reste la même ; quand il s'agit de courants polyphasés, la valeur maxima dans les deux autres phases diminue parce que ces dernières atteignent leurs valeurs maxima, au moment où l'action des contre-ampèretours de la 1re phase se fait sentir. Quoique nous ayons supposé pour le courant une forme sinusoïdale, il est évident que le phénomène reste le même pour toutes les formes de courant, pourvu que ce dernier soit décalé de 90°. La fig. 3 montre l'influence des contre-ampère-

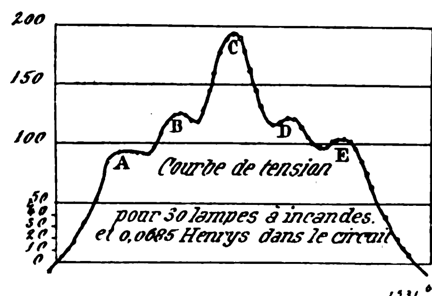


Fig. 3

tours. Remarquons que l'influence du décalage ne peut jamais produire une augmentation de la valeur maxima de la courbe de tension.

Au contraire, l'influence de la capacité est beaucoup plus dangereuse. Partons encore d'une courbe de courant sinusoïdale, et supposons un décalage de 90° en avance sur la tension. Dans la position A, le flux de réaction d'induit atteint son maximum, et, comme il est décalé de 90° en avance sur la tension, il s'ajoute au flux inducteur. L'ordonnée FG doit être, non pas soustraite de l'ordonnée TF, mais ajoutée à cette dernière. Plus la courbe de f. e. m. s'approche de son maximum, moins est grande l'influence des ordonnées FG, en supposant un décalage de 90°. Si l'action des contre-ampèretours est très forte, la courbe de f. e. m.

peut être déformée de telle manière que, au lieu du maximum de la courbe de marche à vide, il se produise une dépression (fig. 2). Si le décalage est inférieur à 90°, les plus grandes ordonnées des courbes peuvent s'ajouter à l'ordonnée maxima de la courbe de f. e. m. à vide et produire aussi des élévations de tension considérables.

L'équation du courant devient, dans le cas où il y a de la capacité :

$$i = \frac{E_1}{\sqrt{W^2 + \frac{1}{4(\pi n c)^2}}} \sin(2\pi n t + \alpha_1) +$$

$$+ \frac{E_3}{\sqrt{W^2 + \frac{1}{36(\pi n c)^2}}} \sin(6\pi n t + \alpha_3) +$$

$$+ \frac{E_5}{\sqrt{W^2 + \frac{1}{100(\pi n c)^2}}} \sin(10\pi n t + \alpha_5) + \ldots \text{etc.}$$

C étant une grandeur positive, le dénominateur varie peu avec C pour de grandes valeurs de la capacité, et est voisin de W.

Nous avons considéré les contre-ampèretours de réaction d'induit en fonction du décalage, et des

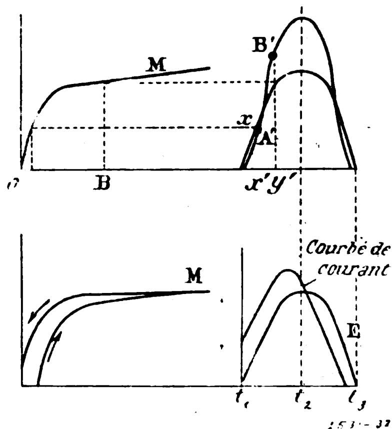


Fig. 4 et 5

courants induit et inducteur; il faut aussi tenir compte de l'hystérésis et de la perméabilité. Pour une valeur instantanée déterminée et pour une résistance extérieure constante, le courant croît d'autant plus que le coefficient de self-induction est plus faible, et que la réluctance magnétique est plus grande. Pour nous rendre compte des phénomènes un peu compliqués qui se produisent, il faut considérer 2 cas limites :

1° Le cas où la machine ne produit aucun courant.

2° Le cas où elle est en court-circuit.

Nous avons déjà examiné le 1er cas ; l'action de l'hystérésis produit un déplacement du zéro par rapport au maximum de la f. e. m. Lorsque la machine est court-circuitée, l'induit produit un courant qui croîtrait indéfiniment si l'impédance du circuit n'était pas augmentée par la self-induction et si le flux inducteur n'était pas compensé par les contre-ampèretours de réaction d'induit. La construction de la fig. 4, où sont portées la courbe de f. é. m. et la courbe d'aimantation du fer, permet de trouver la courbe de courant en court-circuit : en effet, pour une tension X par

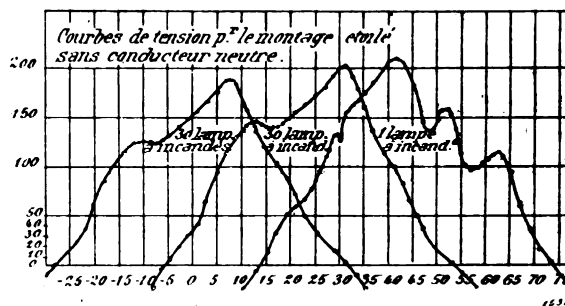


Fig. 6

exemple, il faut OA contre-ampèretours, d'où l'on tire la valeur instantanée du courant :

$$X'A' = \frac{OA}{\text{nombre de tours}}.$$

Si l'on trace en M le cycle d'hystérésis (fig. 5) on peut voir facilement l'action de l'hystérésis au moyen de la même construction. On obtient ainsi une courbe de courant qui, par suite de la réma-

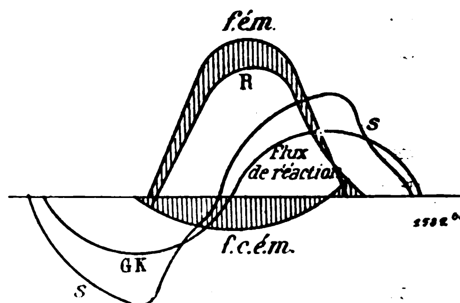


Fig. 7

nence et de la force coercitive est dissymétrique. Le maximum de courant coïncide avec le maximum de la force contre-électromotrice, mais le courant passe par zéro avant le flux de réaction d'induit, de sorte que le décalage entre la f. e. m. induite et le courant est toujours inférieur à 90°. Pendant

l'aimantation, le courant doit être en général plus grand que pendant la désaimantation ; la dissymétrie croît évidemment avec la surface du cycle d'hystérésis et avec l'induction.

La courbe exprimentale de la fig. 6 montre nettement l'influence de l'hystérésis et son action déformatrice. La courbe de la fig. 3 correspond à 30

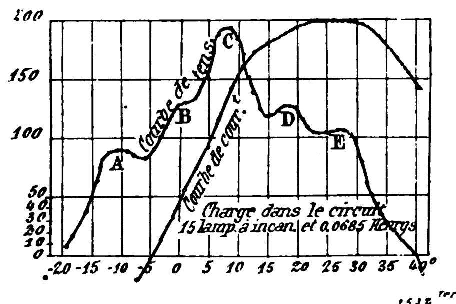


Fig. 8

lampes et une self-induction de 0,0685 henrys ; celle de la fig. 6 correspond à 15 lampes et à la même self-induction.

La fig. 7 représente schématiquement la réaction de la courbe de courant déformée sur la courbe de tension.

La f. e. m. produit dans le cas précédent un courant σ décalé de 70° : le flux de réaction GK

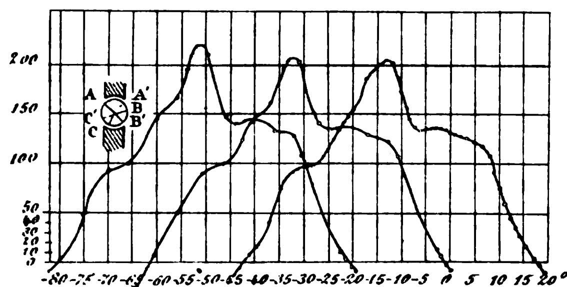


Fig. 9

est décalé par suite de l'hystérésis, en arrière du courant qui le produit ; la force contre électromotrice induite est décalée de 90° sur le flux qui l'engendre, et ses ordonnées doivent être soustraites de la f. e. m. primitive : on obtient ainsi la courbe R qui présente, dans la première moitié, des valeurs instantanées plus faibles, et dans la seconde moitié, des valeurs instantanées plus fortes.

L'étude précédente, faite pour une phase, s'applique très facilement aux systèmes polyphasés. La fig. 8 représente les courbes d'une machine triphasée symétriquement chargée et la fig. 9 les courbes d'une machine non symétriquement chargée.

Les déformations peuvent être construites sans difficulté au moyen du schéma de la fig. 7. L'étude détaillée de cette question mènerait trop loin et ne conduirait à aucun point de vue nouveau.

RÉSUMÉ

A vide la f. e. m. d'une machine à courant continu est déformée :

1° par suite de la variation de la vitesse de passage du flux et d'autant plus que le nombre de dents et l'induction sont plus faibles.

2° par suite de la variation du flux et d'autant plus que le nombre de dents est plus faible et que l'induction est plus forte.

3° par suite de la perméabilité et de la rémanence et d'autant plus que les deux facteurs sont plus grands.

La rémanence se manifeste par un déplacement du zéro.

En charge. — 1° Les courbes de courant sont déformées par suite de la self-induction variable.

2° Les courbes de tension sont déformées par suite de la réaction d'induit.

3° S'il y a dans le circuit extérieur :

a) une forte self-induction ; les courbes de courant se rapprochent de la sinusoïde ; les courbes de tension deviennent plus pointues qu'à vide ; le maximum reste le même.

b) une capacité ; les courbes de courant sont déformées ; les valeurs de la tension sont augmentées.

c) Quand les phases sont en concordance, le maximum de la tension reste le même.

4° L'hystérésis a pour effet :

a) de gonfler la courbe de courant dans la première moitié d'une alternance.

b) de gonfler la courbe de tension dans la seconde moitié d'une alternance.

B. L.

Contribution à la théorie du moteur asynchrone monophasé. — **P. Muller.** — Electrotechnische Zeitschrift, 29 septembre.

Les bons résultats obtenus dans ces derniers temps avec des moteurs monophasés à collecteur ont ramené l'attention sur l'ancien moteur asynchrone monophasé. Son fonctionnement a fait

l'objet de plusieurs études, notamment celle de Görges, dans lesquelles la question principale qui s'est posée est de savoir s'il est plus avantageux de décomposer le champ magnétique du moteur en deux champs alternatifs simples, ou bien en deux champs tournant en sens inverse l'un de l'autre.

A notre avis, les deux méthodes doivent être équivalentes, et, si quelques auteurs trouvent l'une ou l'autre plus simple, c'est tout simplement chez eux une question d'habitude. Pour nous personnellement, nous préférons la décomposition en deux champs alternatifs fixes ; le but de cette étude est, non pas de revenir sur cette ancienne question, mais d'attirer l'attention sur quelques points dont dépend beaucoup le fonctionnement du moteur et qui ont souvent passé inaperçus.

Un moteur diphasé ordinaire se transforme en un moteur monophasé si l'on coupe l'une des phases ; mais, tandis que le courant dans le rotor était un courant alternatif de faible fréquence correspondant au glissement, ce courant a maintenant un caractère pulsatoire ; la réactance est très élevée par suite de ces pulsations et le courant, au lieu d'être à peu près en phase avec la tension, comme cela se produit dans les moteurs polyphasés, a un décalage considérable sur celle-ci.

Si la phase I du stator est parcourue par un courant sinusoïdal, le courant induit dans une bobine du rotor inclinée d'un angle φ par rapport à la phase I un courant de la forme

$$J_2 \sin \omega + \cos \varphi$$

Dans un moteur diphasé, la deuxième phase produirait en même temps dans la même bobine du rotor un courant décalé de $\frac{\pi}{2}$ sur le premier et de la forme

$$-J_2 \cos \omega t \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$$
$$= - J_2 \cos \omega t \sin \varphi.$$

Le courant total dans la bobine du rotor est donc

$$J_2 (\sin \omega t \cos \varphi - \cos \omega t \sin \varphi) = J_2 \sin (\omega t - \varphi).$$

Si le rotor tourne avec une vitesse uniforme, l'angle y est une fonction linéaire du temps

$$\varphi = \omega t\,(1 - \sigma)$$

en désignant par σ le glissement. Le courant est alors

$$J_2 \sin [\omega t - (1 - \sigma)\,\omega t] = J_2 \sin \sigma\omega t.$$

Le courant du rotor a donc une fréquence faible correspondant au glissement, et la réactance est peu considérable.

Si l'on coupe la phase II, il ne reste que le premier courant :

$$J_2 \sin \omega t \cos \varphi.$$

Pour surmonter la résistance W_2 de la bobine, il faut une différence de potentiel

$$W_2\, J_2 \sin \omega t \cos \varphi.$$

Elle est maxima pour $\varphi = 0$, c'est-à-dire quand la bobine est en face de la phase I, et est nulle pour $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

Pour surmonter la self-induction L_2 il faut une différence de potentiel :

$$L_2 \frac{\delta}{\delta t} J_2 \sin \omega t \cos \varphi - L_2 J_2 \left(\omega \cos \omega t \cos \varphi - \frac{d\varphi}{dt} \sin \omega t \sin \varphi\right).$$

Le premier terme est maximum pour $\varphi = 0$, c'est-à-dire phase I ; le second terme est maximum pour $\varphi = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire phase II.

Il faut donc employer dans la phase I une différence de potentiel

$$\omega\, L_2\, J_2 \cos \omega t, \qquad (1)$$

et dans la phase II, une différence de potentiel

$$(1 - \sigma)\, \omega\, L_2\, J_2 \sin \omega t. \qquad (2)$$

La première seule nous intéresse : comme on le voit, la self-induction dans le circuit du rotor est indépendante du glissement et ne diminue pas, comme pour les moteurs polyphasés, avec σ, mais conserve à toutes les vitesses la valeur qu'elle avait à l'arrêt.

Ce résultat peut paraître surprenant au premier abord et il semble que le facteur de puissance doive avoir une valeur extrêmement faible. Or, en réalité, le facteur de puissance, quoique plus faible dans les moteurs monophasés que dans les moteurs polyphasés, a toujours des valeurs admissibles. Cela tient à ce que, dans les moteurs polyphasés, les forces électromotrices induites dans le stator et dans le rotor ont la même phase ; au contraire, dans les moteurs monophasés, la f. é. m. induite dans le rotor est plus ou moins décalée en avant de la f. é. m. du stator. Tant que le rotor est immobile, la phase principale est

soumise seulement à l'action du champ principal placé dans son axe ; les f. é. m. induites dans le stator et dans le rotor sont nécessairement en phase et atteignent leur maximum au moment où le champ s'annule. Lorsque le rotor tourne, les conditions sont toujours les mêmes dans le stator, mais le rotor n'est plus soumis qu'à l'action du champ transversal. Dans les moteurs polyphasés, ce champ est décalé d'exactement 90° dans le temps sur le premier ; par suite, la tension E^{II} produite par ce champ transversal est exactement opposée en phase à E_I (fig. 1_a). Le résultat est que la tension dans le rotor diminue avec le glissement mais conserve toujours la même phase que la f. é. m. du stator.

Les conditions changent dès que le champ transversal n'est plus décalé exactement de 90°

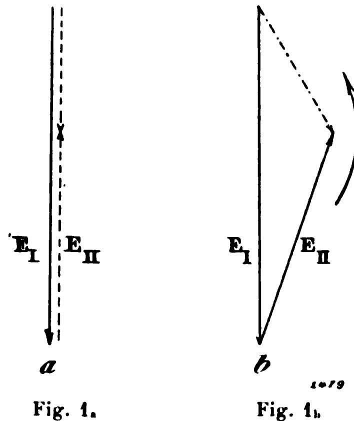


Fig. 1. Fig. 1_b

sur le champ principal, mais, par exemple, est encore plus en arrière. Dans ce cas, les deux tensions se composent en une tension résultante décalée en avant sur la f. é. m. primaire (fig. 1_b). Si, au contraire, le champ transversal est décalé de moins de 90° en arrière, la résultante est décalée en arrière. Il est donc très possible qu'il se produise une force électromotrice dans le rotor lui-même quand il tourne en synchronisme et que le champ principal et le champ transversal ont la même intensité. On peut ainsi s'expliquer que, malgré un décalage considérable dans le rotor, on obtienne un facteur de puissance admissible.

Désignons par :

J_1 le courant du stator ;

J_2 le courant du rotor ;

i_1 le courant d'aimantation ;

I le courant total dans la phase principale I ;

i_2 le courant magnétisant dans la phase transversale II.

Nous supposerons tous ces courants sinusoïdaux et nous envisagerons seulement les valeurs instantanées.

Pour déterminer les quatre courants inconnus, il faut établir quatre équations.

Le courant magnétisant i_1 produit un champ N_1 dans la direction de l'axe principal I ; de même i_2 produit suivant l'axe II un champ N_2 perpendiculaire au premier.

Une bobine de rotor dont l'axe fait avec la direction I l'angle φ est soumise à une action

$$N_1 \cos \varphi$$

et à une action

$$N_2 \left(\cos \frac{\pi}{2} - \varphi\right) = N_2 \sin \varphi .$$

Ces champs donnent lieu aux tensions suivantes :

$$e_1 = -\frac{K}{\omega} \left\{ \cos \varphi \frac{\partial N_1}{\partial t} - N_1 \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right\} \quad (4)$$

$$e_2 = -\frac{K}{\omega} \left\{ \sin \varphi \frac{\partial N_2}{\partial t} + N_2 \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right\} \quad (5)$$

Dans la phase principale I $\varphi = 0$ on a :

$$e_1 = -\frac{K}{\omega} \frac{\partial N_1}{\partial t} - \frac{K}{\omega} N_2 \frac{d\varphi}{dt}. \quad (6)$$

Dans la phase transversale I, on a :

$$e_2 = -\frac{K}{\omega} \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{K}{\omega} N_1 \frac{d\varphi}{dt}. \quad (7)$$

Remplaçons φ par sa valeur :

$$\varphi = \omega t (1 - \sigma) \quad (8)$$

d'où :

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega (1 - 6).$$

Si l'on conserve le facteur de proportionnalité K tel que $\frac{I}{K}$ soit égal au rapport du courant magnétisant efficace à la f. é. m. induite,

$$e = K i_\mu ,$$

les expressions prennent la forme suivante : tension du rotor dans la phase I

$$e_1 = -\frac{K}{\omega} \frac{\partial i_1}{\partial t} - K \left(1 - \sigma\right) \quad (10)$$

$$e_2 = -\frac{K}{\omega} \frac{\partial i_2}{\partial t} + K \left(1 - \sigma\right) i_1 . \quad (11)$$

Cherchons les différences de potentiel néces-

saires pour surmonter la résistance W_2 et la self-induction L_2 du circuit du rotor.

Le rotor est le siège de deux courants, le courant secondaire J_2 dans la phase I, et le courant magnétisant i_2 dans la phase II; la bobine qui fait un angle φ avec l'axe I est parcourue par le courant :

$$J_2 \cos \varphi + i_2 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = J_2 \cos \varphi + i_2 \sin \varphi. \qquad (12)$$

Pour surmonter la résistance W_2 il faut :

$$W_2 (J_2 \cos \varphi + i_2 \sin \varphi) \qquad (13)$$

et pour surmonter la self-induction :

$$L_2 \frac{\partial}{\partial t} \left\{ J_2 \cos \varphi + i_2 \sin \varphi \right\} =$$

$$= L_2 \left\{ \begin{array}{l} \cos \varphi \dfrac{\partial J_2}{\partial t} - J_2 \sin \varphi \dfrac{d\varphi}{dt} \\ + \sin \varphi \dfrac{\partial i_2}{\partial t} + i_2 \cos \varphi \dfrac{d\varphi}{dt} \end{array} \right\} \qquad (14)$$

Dans la phase I, tous les termes contiennent le facteur cos φ; dans la phase II, ils contiennent le facteur sin φ.

$$e_1 = W_2 J_2 + L_2 \frac{\partial J_2}{\partial t} + (1 - \sigma) \omega L_2 i_2 \qquad (15)$$

$$e_2 = W_2 i_2 + L_2 \frac{\partial i_2}{\partial t} - (1 - \sigma) \omega L_2 J_2 \qquad (16)$$

Ces tensions doivent être égales aux tensions indirectes (équat. 10 et 11) : on obtient donc les deux équations de condition :

Phase principale I :

$$-\frac{K}{\omega} \frac{\partial i_1}{\partial t} - K (1 - \sigma) i_2 = W_2 J_2 + L_2 \frac{\partial J_2}{\partial t} + (1 - \sigma) \omega L_2 i_2 \qquad (I)$$

Phase transversale II :

$$-\frac{K}{\omega} \frac{\partial i_2}{\partial t} + K (1 - \sigma) i_1 = W_2 i_2 + L_2 \frac{\partial i_2}{\partial t} - (1 - \sigma) \omega L_2 J_2 \qquad (II)$$

On trouve une autre équation en remarquant que, dans le stator, la différence de potentiel appliquée aux bornes est égale à la tension de réactance et à la f. é. m. induite par le champ magnétique.

Sur l'enroulement du stator, le champ N_1 seul produit un effet, car N_2 est perpendiculaire à son axe. La tension induite est :

$$-E_1 = -\frac{K}{\omega} \frac{\partial i_1}{\partial t} \qquad (17)$$

On doit donc avoir, pour la différence de potentiel aux bornes :

$$E_p = E_1 + W_1 J_1 + L_1 \frac{\partial J_1}{\partial t} = \frac{K}{\omega} \frac{\partial i_1}{\partial t} + W_1 J_1 + L_1 \frac{\partial J_1}{\partial t} \qquad (III)$$

Enfin, la quatrième équation est :

$$i_1 = J_1 + J_2 \qquad (IV)$$

Nous allons tirer de ces quatre équations les quatre courants inconnus. On peut, dans l'équation II, négliger le terme $W_2 i_2$; cela revient à faire tourner le vecteur i_2 d'un angle dont la tangente est égale à

$$\frac{W_2}{K + \omega L_2}$$

valeur extrêmement faible.

Des équations ci-dessus on tire la relation suivante entre i_2 et J_2 :

$$i_2 = \frac{W_2}{K + \omega L_2} \cdot \frac{1 - \sigma}{\sigma (2 - \sigma)} J_2 \qquad (18)$$

En remplaçant dans l'équation I i_2 par sa valeur (18) et i_1 par sa valeur (IV), on obtient

$$-K \frac{\partial J_1}{\partial t} = K + \omega L_2 \frac{\partial J_2}{\partial t} + \frac{\omega W_2}{(2 - \sigma) \sigma} J_2. \qquad (19)$$

En différenciant, on obtient la valeur de J_1 :

$$-K J_1 = (K + \omega L_2) J_2 - \frac{W_2}{\omega (2 - \sigma) \sigma} \frac{\partial J_2}{\partial t} \qquad (20)$$

Ces deux expressions, introduites dans l'équation III, donnent la relation cherchée entre le courant secondaire J_2 et la différence de potentiel primaire E_p

$$E_p - J_2 \left\{ W_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \frac{W_2}{\sigma (2 - \sigma)} \left(\frac{\omega L_1}{K} + 1\right) \right\} - \frac{1}{\omega} \frac{\partial J_2}{\partial t} \left\{ \omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2 + W_1 \frac{W_2}{K} \frac{1}{\sigma (2 - \sigma)} \right\} \qquad (V)$$

La différence de potentiel aux bornes peut donc être décomposée en deux composantes : l'une ayant la direction du courant secondaire, et l'autre perpendiculaire à cette direction.

La grandeur des deux composantes varie avec le glissement ; mais leur somme géométrique est constante et égale à E_p.

La représentation graphique de cette équation serait obtenue par une succession de triangles rectangles dont toutes les hypothénuses auraient une seule et même grandeur et représente-

raient E_p. Le lieu géométrique des sommets de ces triangles est donc un cercle décrit sur l'hypothénuse comme diamètre,

L'angle α compris entre J_2 et E_p est donné par l'expression :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma(2-\sigma)\left\{\omega L_1\left(1+\frac{\omega L_2}{K}\right)+\omega L_2\right\}+W_2\frac{W_1}{K}}{\sigma(2-\sigma)W_1\left(1+\frac{\omega L_2}{K}\right)+W_2\left(1+\frac{\omega L_1}{K}\right)} \quad \text{(VI)}$$

Cette formule est analogue à la formule correspondante des moteurs polyphasés, mais il existe cette différence caractéristique qu'ici le numérateur et le dénominateur ne sont pas des fonctions linéaires de σ, mais des fonctions du 2[e] degré. Malgré cela, l'échelle de glissement est, comme nous allons le montrer, une droite dont les divisions ne sont pas simplement proportionnelles mais proportionnelles aux carrés.

Pour décomposer E_p en ses deux composantes pour un glissement déterminé, par exemple pour $\sigma = 0$, on opère de la façon suivante : (fig. 2).

Sur une droite $AB = E_p$ comme diamètre, on

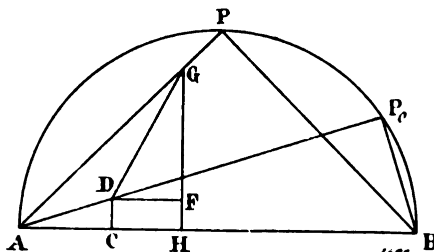


Fig. 2

trace un demi cercle ; on porte à partir de A le segment

$$AC = W_2\left(1+\frac{\omega L_1}{K}\right)$$

et perpendiculairement

$$CD = W_2\frac{W_1}{K}.$$

En menant le rayon ADP_0, on obtient la composante dans la direction de J_2. P_0B représente l'autre composante.

Pour d'autres vitesses $\sigma > 0$, on mène :

$$DF = \sigma(2-\sigma)W_1\left(1+\frac{\omega L_2}{K}\right)$$

et

$$FG = \sigma(2-\sigma)\left\{\omega L_1\left(1+\frac{\omega L_2}{K}\right)+\omega L_2\right\}$$

puis on trace le rayon AP.

Le rapport entre les segments GF et FD, c'est-à-dire la tangente de l'angle GDF a la valeur :

$$\operatorname{tg} \widehat{GDF} = \frac{GF}{FD} = \frac{\omega L_1\left(1+\frac{\omega L_2}{K}\right)+\omega L_2}{W_1\left(1+\frac{\omega L_2}{K}\right)}$$

Cette valeur est constante, et tous les points G sont sur une droite qui représente l'échelle de glissement.

La division de cette échelle n'est plus linéaire,

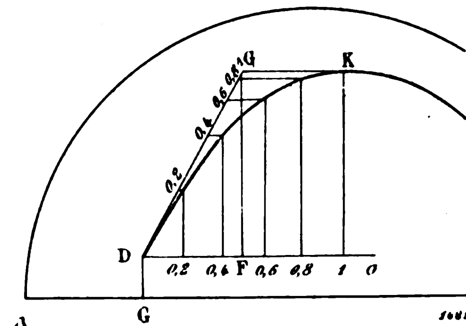


Fig. 2 b.

comme dans le diagramme de Heyland, c'est-à-dire que DG n'est plus proportionnel à σ mais à l'expression

$$(2-\sigma)\,\sigma.$$

Tant que l'on n'envisage que de très faibles glissements, le deuxième terme σ^2 a peu d'importance et peut être négligé ; la partie inférieure de l'échelle porte donc une division linéaire, mais d'une valeur double de celle des moteurs polyphasés.

Cela peut être expliqué facilement par le fait que, dans ces derniers, le champ transversal a une grandeur constante et que, par suite, la tension produite dans le rotor par la rotation est proportionnelle à la vitesse de rotation $\omega(1-\sigma)$. Au contraire, dans les moteurs monophasés, le champ transversal est approximativement proportionnel à cette vitesse et la f. é. m. proportionnelle à

$$\omega^2(1-\sigma)(1-\sigma) = \omega^2(1-\sigma)^2$$

ou, approximativement, pour de faibles valeurs de σ, à

$$\omega^2(1-2\sigma).$$

Si l'on veut tracer le diagramme pour de plus grandes valeurs du glissement, il faut tenir compte du terme σ^2.

La courbe $y = (2-\sigma)\,\sigma$ est une parabole pas-

sant par les points $\sigma = 0$ $\sigma = 2$ et dont le sommet correspond à $\sigma = 1$. Les divisions de l'échelle doivent être proportionnelles aux ordonnées y.

Si l'on a porté (fig. 3) :

$$DF = W_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right)$$

et

$$FG = \omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2$$

correspondant à $\sigma = 1$, il suffit de mener GK égal et parallèle à DF, de construire l'arc de parabole DK, et de reporter les ordonnées sur l'échelle DG.

Il peut arriver que le rayon correspondant au

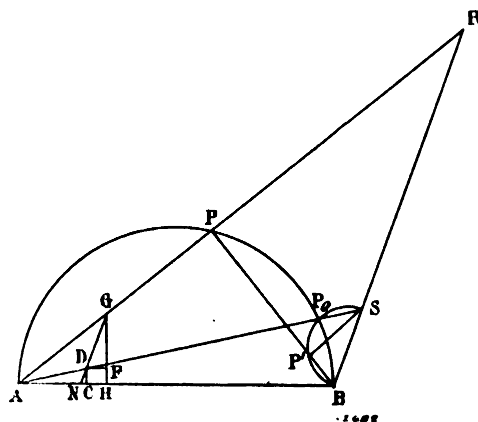


Fig. 3

synchronisme AP_0 (fig. 4) ne coïncide pas avec le diamètre AB et qu'alors en apparence il existe à cette vitesse, un courant J_2 représenté par le vecteur BP_0. Il se produit d'ailleurs quelque chose de semblable dans le diagramme exact des moteurs polyphasés. La grandeur de CD a été extrêmement exagérée sur le diagramme pour plus de clarté, mais il est certain que cette grandeur n'est pas nulle en réalité, et cependant J_2 est nul au synchronisme. Cela provient de ce que le segment BP ne peut pas être pris simplement comme mesure du courant J_2. Il représente, comme le montre l'équation V, la composante de tension :

$$\left\{\omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2 + \frac{W_1}{K} \frac{W_2}{\sigma(2-\sigma)}\right\} J_2$$

qui n'est pas simplement proportionnelle au courant J_2, puisque le coefficient n'est pas constant, mais dépend du glissement σ.

Si l'on veut déterminer J_2, il faut d'abord réduire le segment BP de telle manière que le terme variable entre parenthèses disparaisse, par exemple dans le rapport :

$$BP \frac{\omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2}{\omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2 + \frac{W_1}{K} \frac{W_2}{\sigma(2-\sigma)}}$$

$$= BP \frac{\sigma(2-\sigma)\left\{\omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2\right\}}{\sigma(2-\sigma)\left\{\omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2\right\} + W_1 \frac{W_2}{K}}.$$

On retrouve la valeur du numérateur et celle du dénominateur sur l'échelle de glissement ; la première est donnée par le segment FG, et la deuxième par la somme de FG et DC, c'est-à-dire par GH. On peut donc prendre pour valeur du segment réduit

$$PP' = BP \frac{GF}{GH}.$$

Le même rapport existe entre GD et GN ou entre RS et RB. On peut donc prendre

$$PP' = PB.\frac{RS}{RB}.$$

Pour cela, il suffit de mener par S une parallèle SP' au rayon RPA, et l'on obtient PP', qui représente la tension :

$$\left(\omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2\right) J_2$$

et donne une mesure directe du courant J_2.

Comme le rayon RPA est perpendiculaire à PB, l'angle SP'B est droit, et tous les points P', dont fait partie le point P_0 sont situés sur un cercle ayant BS comme diamètre.

Par conséquent, on peut établir le diagramme de la façon suivante :

Après avoir tracé l'échelle de glissement DG, on mène le rayon AD, puis par B, parallèlement à l'échelle de glissement, la droite BS jusqu'au point d'intersection avec AD, et l'on trace un cercle sur BS comme diamètre. On obtient le courant secondaire correspondant à un glissement déterminé, en traçant le rayon AGP et en menant la droite PB qui coupe le petit cercle BS au point P' : le segment PP' mesuré à l'échelle des tensions et divisé par la valeur de

$$\omega L_1 \left(1 + \frac{\omega L_2}{K}\right) + \omega L_2$$

ou bien mesuré à l'échelle des courants, donne le courant secondaire J_2.

Il faut maintenant déterminer i, qui n'est constant ni en grandeur ni en phase.

L'équation I, dans laquelle on remplace i_2 par sa valeur (18) prend la forme

$$-\frac{K\partial i}{\omega \partial t} = L_2 \frac{\partial J_2}{\partial t} + \frac{W_2}{\sigma(2-\sigma)} J_2, \qquad (21)$$

La résultante des deux composantes du deuxième membre fait avec J_2 un angle γ tel que

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\omega L_2}{\left[\frac{W_2}{\sigma(2-\sigma)}\right]} = \frac{\sigma(2-\sigma)\,\omega L_2}{W_2}, \qquad (22)$$

Le courant i_1, qui doit être à 90° de la tension représentée par le premier membre, doit donc faire avec J_2 l'angle $90° + \gamma$. La direction de i_1 est ainsi déterminée.

En ce qui concerne la valeur de i_1, on peut la tirer de la même équation. Sa valeur absolue est égale à la somme géométrique des deux composantes rectangulaires :

$$\frac{\omega L_2}{K} J_2$$

$$\frac{W_2}{K\,\sigma(2-\sigma)} J_2,$$

La première de ces composantes est directement proportionnelle à J_2 : puisqu'on connaît la direction de i_1, elle suffit à en déterminer la grandeur.

Pour obtenir i_1 sur le diagramme, on mène à partir du point B le rayon BT faisant avec AB l'angle γ ; la ligne de jonction TP donne la direction de i_1. On prolonge PP' de la quantité

$$\frac{\omega L_2}{K} PP'$$

et l'on élève une perpendiculaire qui limite sur PT le courant magnétisant i_1.

Pour de faibles glissements, on trouve pour γ un angle très pointu. On peut faciliter la construction de cet angle en établissant une sorte d'échelle de glissements. On a

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\omega L_2}{W_2}\sigma(2-\sigma)$$

On porte sur le diamètre AB, à partir de B la longueur constante W_2 et, sur une perpendiculaire, la longueur variable $\omega L_2 \sigma (2-\sigma)$: la division de cette perpendiculaire est proportionnelle à $\sigma(2-\sigma)$ c'est-à-dire qu'elle suit la même loi que celle de l'échelle de glissement.

Il reste à déterminer J_1 et i_2. La première de ces grandeurs est donnée directement par le côté du triangle formé par i_1 et J_2.

Pour i_2, nous avons trouvé la valeur (18)

$$i_2 = \frac{W_2}{K+\omega L_2}\cdot\frac{1-\sigma}{\sigma(2-\sigma)} J_2;$$

i_2 est en phase avec J_2 et est décalé de 90° dans l'espace sur ce dernier : on le porte donc sur le diagramme perpendiculairement à J_2. Le produit

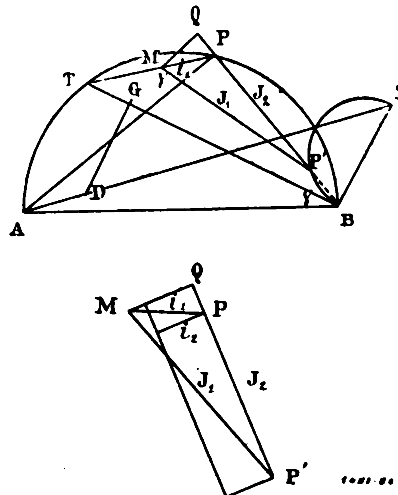


Fig. 4 et 5

de i_2 et de J_2, c'est-à-dire le rectangle construit avec ces deux grandeurs comme côtés, donne le couple du champ transversal.

Or i_1 résulte de deux composantes, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire à J_2, dont la deuxième a la grandeur

$$\frac{W_2}{K}\frac{1}{\sigma(2-\sigma)} J_2.$$

L'expression ci-dessus ne se distingue de celle-ci qu'en ce que le dénominateur contient le facteur $K + \omega L_2$ au lieu de K.

Il suffit donc de diminuer (fig. 5) la composante QM perpendiculaire à J_2 dans le rapport

$$\frac{K}{K-\omega L_2}(1-\sigma)$$

pour obtenir le courant i_2.

Quant au couple, il est proportionnel à la somme des surfaces du rectangle $i_2 J_2$ et du parallélogramme $i_1\ i_2$ ou, ce qui revient au même, proportionnel à la surface du rectangle formé par les côtés i_2 d'une part et $\left(J_2 + \frac{\omega L_2}{K} J_2\right)$ d'autre part.

O. A.

***La théorie de l'auto-transformateur.* — Slova.**
Zeitschrift fur Electrotechnik, 25 septembre.

ÉTUDE ANALYTIQUE.

Nous allons appliquer à l'étude de l'auto-transformateur la méthode symbolique de Steinmetz.

Soient :

$\frac{N_1}{N_2} = \alpha \gtrless 1$ le rapport de transformation.

J_0 le courant d'excitation.

$J_1 \sin \omega = J_h$ le courant watté dû à l'hystérésis.

$J_1 \cos \omega = J_\mu$ le courant magnétisant.

$Z_1 = r_1 - jx_1$ l'impédance de pertes entre AC $= \frac{f.e\,m.\ \text{pour}\ r_1\ \text{et}\ x_1}{J_1}$

$Z_2 = r_2 - jx_2$ l'impédance de pertes entre CB = impédance secondaire intérieure.

$= \frac{f.\ é.\ m.\ \text{pour}\ r_2\ \text{et}\ x_2}{J_2}$ (x_1 et x_2 se rapportent aux flux de dispersion)

$Y_t = \frac{\text{courant d'excitation}}{\text{force contre-électromotrice primaire}} = \frac{J_0}{E'_1}$ (pour N_1 tours)

$Y = g + jb$ l'admittance totale du circuit secondaire y compris la charge.

$Z_1\ Z_2\ Y_t$ sont presque constants pour un transformateur donné à potentiel constant.

Désignons par :

E_1 la *f.e.m.* primaire imprimée.

E'_1 la force contre électro-motrice primaire.

E_2 la différence de potentiel aux bornes secondaires.

E'_2 la *f. e. m.* secondaire induite (équilibrant E'_1).

J_1 le courant primaire.

J_2 le courant secondaire.

J_0 le courant d'excitation.

Supposons E_1 constant. Comme les pertes sont faibles dans tout transformateur bien construit, E'_1 et E'_2 sont pratiquement constants, c'est-à-dire que Φ doit avoir toujours la même valeur.

Comme $\hat{\omega}$, décalage dû à l'hystérésie, est constant, le courant d'excitation doit pratiquement être constant à toute charge.

Les *f. e. m.* induites, sont :

$$E'_1 = -\alpha E'_2 \qquad (1)$$

Le courant secondaire est

$$J_2 = YE'_1 = -\frac{YE'_1}{\alpha}. \qquad (2)$$

Le courant primaire doit être constitué par deux composantes, l'une équivalente au courant de charge, et la seconde égale au courant d'excitation constante.

Donc on a

$$\left.\begin{aligned} J_1 &= -\frac{YE'_2}{\alpha} = +\frac{YE'_1}{\alpha^2} \\ J_0 &= Y_t E'_1 \\ J_1 &= \frac{E'_1}{\alpha^2}(Y + Y_t\alpha^2) = -\frac{E'_2}{\alpha}(Y + Y_t\alpha^2) \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} E_2 &= E'_2 - Z_2(J_1 + J_2) = E'_2 - Z_2\left[YE'_2 - \frac{E'_2}{\alpha}(Y + Y_t\alpha^2)\right] \\ E_2 &= E'_2\left(1 - Z_2\left[Y - \frac{Y + Y_t\alpha^2}{\alpha}\right]\right) \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

différence de potentiel aux bornes secondaires.

$$E_1 = E'_1 + J_1 Z_1 + Z_2(J_1 + J_2)$$

$$= E'_1 + \frac{E'_1}{\alpha}(Y + Y_t\alpha^2)Z_1 + Z_2\left(-\frac{YE'_1}{\alpha} + \frac{E'_1}{\alpha^2}(Y + Y_t\alpha^2)\right)$$

$$E_1 = E'_1\left[1 + \frac{Z_1}{\alpha^2}(Y + Y_t\alpha^2) - \frac{Z_2 Y}{\alpha} + \frac{Z_2}{\alpha_2} Y + Y_t\alpha^2)\right]$$

$$E_1 = E'_1\left[1 - \frac{YZ_2}{\alpha} + \frac{Z_1 + Z_2}{\alpha^2}(Y + Y_t\alpha^2)\right] \qquad (5)$$

On peut modifier ces formules d'après les besoins, suivant ce qui est donné et ce qui est à calculer.

EQUIVALENCE.

Cherchons l'impédance totale de l'auto-transformateur Z_d : nous trouvons

$$\frac{E_1}{J_1} = \alpha^2 \frac{1 - \frac{YZ_2}{\alpha} + \frac{Z_1 + Z_2}{\alpha^2}(Y + Y_t\alpha^2)}{Y + Y_t\alpha^2} = Z_d\ ,$$

impédance équivalente

$$\frac{E_1}{J_1} = \frac{1 - \frac{YZ_2}{\alpha}}{\frac{Y}{\alpha^2} + Y_t} + (Z_1 + Z_2)$$

$$= \frac{1}{\frac{Y}{\alpha^2}\left(\frac{1}{1 - \frac{YZ_2}{\alpha}}\right) + Y_t\left(\frac{1}{1 - \frac{YZ_2}{\alpha}}\right)} + (Z_1 + Z_2) \qquad (6).$$

$\frac{Y}{\alpha^2}$ est l'admittance totale secondaire, rapportée au circuit primaire.

Y_t est l'admittance totale primaire.

L'équation ci-dessus peut être traduite de la façon suivante :

L'auto-transformateur avec le rapport de trans-

formateur α_1 l'admittance primaire Y_t, l'admittance totale secondaire Y et l'impédance du côté primaire $(Z_1 + Z_2)$ est équivalent à un circuit ayant une admittance partielle

$$Y_t \left(\frac{1}{1 - \frac{YZ_2}{\alpha}} \right)$$

pour l'excitation, et une admittance partielle

$$\frac{Y}{\alpha^2} \left(\frac{1}{1 - \frac{YZ_2}{\alpha}} \right)$$

pour la charge, les deux étant placées au delà de l'impédance $Z_1 + Z_2$ (fig. 1).

Quand le circuit secondaire est ouvert, c'est-

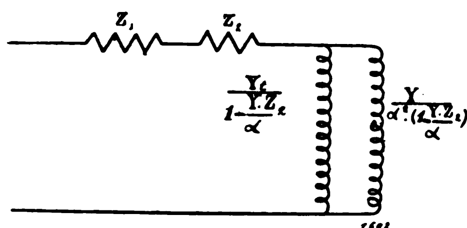


Fig. 1

à-dire pour la marche à vide, on voit immédiatement que l'auto-transformateur se comporte comme une bobine de self-induction, car

$$Y = 0 \quad \frac{1}{Y} = Z_2 + Z_a \quad , \quad Z_a = \infty$$

c'est-à-dire que la résistance extérieure secondaire est infiniment grande.

$$\frac{1}{1 - \frac{0Z_2}{\alpha}} = 1$$

$$Z_d = \frac{1}{\underbrace{\frac{Y}{\alpha^2} \cdot 1}_{0} + Y_t . 1} + Z_1 + Z_2 = \frac{1}{Y_t} + (Z_1 + Z_2)$$

L'effet est le même que pour le transformateur ordinaire.

Lorsque le secondaire est court-circuité, on a

$$Z_a = 0 \quad , \quad \frac{1}{Y} = Z_2 + 0 \quad , \quad YZ_2 = 1.$$

L'équation générale devient

$$Z_d = \frac{1}{\frac{1}{\alpha(\alpha - 1)Z_2} + \frac{Y_t\alpha}{\alpha - 1}} + (Z_1 + Z_2).$$

D'une façon générale, on trouve que

$$\frac{1}{1 - \frac{YZ_2}{\alpha}}$$

est approximativement égal à 1 ; en simplifiant ainsi on retombe sur le schéma de Steinmetz pour le transformateur ordinaire. Si, à cause de la dispersion, on ne peut pas faire cette simplification, l'équation équivalente est plus compliquée. Le facteur est

$$\frac{1}{1 - \frac{Z_2}{(Z_2 + Z_a)\alpha}} = \frac{(Z_2 + Z_a)\alpha}{Z_2(\alpha - 1) + \alpha Z_a}$$

et

$$Z_d = \frac{\alpha(\alpha - 1)Z_2 + \alpha^2 Z_a}{1 + \alpha^2(Z_2 + Z_a)Y_t} + (Z_1 + Z_2)$$

Même dans ce cas, on peut donc remplacer l'auto-transformateur par une somme d'impédances avec lesquelles on peut faire les calculs sans avoir à considérer les appareils du circuit réel à courant alternatif.

En ce qui concerne l'angle de décalage dans le circuit primaire, produit par l'impédance équivalente, on a

$$Z_d = r_d - jx_d = (r_1 - jx_1) + (r_2 - jx_2) + \\ + \frac{1}{\frac{(g + jb)}{\alpha^2} + (g_t + jb_t)}$$

En éliminant les termes imaginaires du dénominateur, on obtient les sommes réelles et imaginaires. Leur rapport est la tangente de l'angle.

$$\text{tg } \varphi_1 = \text{th } \varphi_d = \frac{x_d}{r_d}.$$

Charge formée des lampes a incandescence

Les expressions de

$$\frac{E_1}{E_2} \quad , \quad \frac{J_1}{J_2} \quad , \quad \frac{E_1}{J_1} \text{ etc.,}$$

sont, dans certaines circonstances, susceptibles de simplifications.

Supposons

$$\hat{\varphi_2} = 0$$

$Z_1 + Z_2 = \alpha^2 Z_2$ comme pour le transformateur. Z_2 est très petit

$$Y = \frac{1}{Z_2 + Z_a} = \frac{1}{Z_a}$$

$\alpha^2 Z_a = R$ est la charge non inductive, rapportée au circuit primaire

$$Z_1 = \alpha_\varepsilon Z_2$$
$$\frac{Z_2}{Z_a} = \frac{Z_1}{R}$$

1° On a, dans ce cas

$$\frac{E_1}{E_2} = -\alpha \frac{1 - \frac{Z_2}{Z_a \alpha} + Z_2(Y + Y_t \alpha^2)}{1 - \frac{Z_2}{Z_a} + \frac{Z_2}{\alpha}(Y + Y_t \alpha^2)}$$

Posons
$$Z_2(Y + Y_t \alpha^2) = U,$$

U étant une fraction réelle. Il vient

$$\frac{E_1}{E_2} = \alpha \frac{1 - \frac{Z_1}{R\alpha} + U}{1 - \frac{Z_1}{R} + \frac{U}{\alpha}}$$

Si α n'est pas très petit, on peut négliger sans inconvénient

$$\frac{Z_1}{R\alpha} \quad \text{et} \quad \left(-\frac{Z_1}{R} + \frac{U}{\alpha}\right).$$

Il vient
$$\frac{E_1}{E_2} = -\alpha(1 + U)$$

où U n'est plus une grandeur symbolique, mais une grandeur réelle.

On voit alors que la chute de tension en pour cent a la valeur

$$100 \frac{1 + U - 1}{1 + U} \% .$$

Lorsque la courbe est déformée, il y a une plus grande chute de tension à cause de l'accroissement de self-induction.

2° L'équation des courants prend la forme suivante

$$\frac{J_1}{J_2} = -\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{U}{Z_2 Y} = -\frac{1}{\alpha} U \frac{Z_a}{Z_2} = -\frac{1}{\alpha} U \frac{R}{Z_1}$$

3° L'impédance équivalente de l'auto-transformateur est

$$Z_d = \frac{E_1}{J_1} = \frac{1 - \frac{YZ_2}{\alpha}}{\frac{Y}{\alpha_2} + Y_t} + (Z_1 + Z_2)$$

$$Z_d = \frac{1 - \frac{Z_2}{Z_a \alpha}}{\frac{U}{\alpha^2 Z_2}}(Z_1 + Z_2) = \frac{Z_1 + Z_2}{U} + (Z_1 + Z_2)$$

$$Z_d = \frac{U - 1}{R}(Z_1 + Z_2)$$

Lorsqu'on connaît les valeurs de Z_d et de Z_1 pour l'auto-transformateur, on peut tirer U de cette équation et déterminer facilement les valeurs des rapports de tension ou de courants.

Pertes Joule et répartition des sections de cuivre pour des rapports de transformations variables.

Un point important pour l'étude d'un autotransformateur est la dimension exacte et la répartition du cuivre. On ne peut pas donner de règle générale, même pour le transformateur ordinaire, car les conditions d'exploitation ont une grande influence dont on doit tenir compte dans le calcul.

Mais supposons que le transformateur travaille toujours à pleine charge ; la densité de courant doit être la même au primaire et au secondaire ($s_1 = S_2 = S$), pour que le poids de cuivre soit minimum.

La même condition se retrouve pour l'autotransformateur.

Etudions la répartition de la section de cuivre, pour une charge courante et un rapport de transformation variable.

Supposons E_1 et Φ constants, ainsi que J_0, et considérons les variations des pertes dans le cuivre à vide comme négligeables lorsque la section varie ; nous ferons plus tard la correction nécessaire.

Les rapports $\frac{E_1}{E_2}$ et $\frac{N_1}{N_2} = \alpha$ varient indépendamment l'un de l'autre pour la charge constante R.

Figurons-nous les courants primaire et secondaire, décalés de près de 180° l'un sur l'autre, c'est-à-dire le triangle des courants très étroit. Pour les pertes Joule il faut seulement considérer les courants efficaces qui circulent réellement $J_2 - J_1$ et J_1

$$J_1 = \frac{J_2}{\alpha} + J_0$$

$$S_1 = \frac{\frac{J_2}{\alpha} + J_0}{q_1}$$

$$S_2 = \frac{J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)}{q_2}$$

Il faut avoir

$$\frac{\frac{J_2}{\alpha} + J_0}{q_1} = \frac{J_2 - \frac{J_2}{\alpha} + J_0}{q_2}$$

ou

$$\frac{q_2}{q_1}=\frac{J_2-\frac{J_2}{\alpha}+J_0}{\frac{J_2}{\alpha}+J_0}=\frac{J_2}{\frac{J_2}{\alpha}+J_0}-1.$$

Posons $E_2 J_2 = R$ = puissance apparente secondaire

$$J_2 \frac{R}{E_2}=\frac{R\alpha}{E_1}$$

et $C = J_0 E_1$ = puissance apparente à vide

$$\frac{q_2}{q_1}=\left[\frac{R\alpha}{R+C}-1\right]$$

Lorsque E_1 J_0 C et R sont données, cette équation représente une relation linéaire entre q_2 et α en supposant l'action du courant magnétisant constante.

q_2 atteint le minimum idéal zéro pour

$$\frac{R\alpha}{R+C}=1 \quad \text{ou} \quad \alpha=1+\frac{C}{R}$$

Pour ce rapport de transformation (point D fig. 2) il ne passe pas de courant utilisé dans la

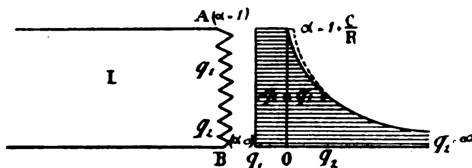


Fig. 2

partie inférieure de la bobine. $\frac{C}{R}$ est très petit, et ce point est très rapproché du point A où $\alpha = 1$.

Il ne passe par AB que le courant d'excitation.

Pour $\alpha < 1$, nous trouverions que q_2 doit être $\frac{R}{C}$ fois plus grand que q_1. La section q_1 nécessaire pour le courant d'excitation est très faible. C'est pourquoi tout se passe comme si réellement (fig. 3) le courant primaire total excepté le courant d'excitation passait par AC dans le circuit secondaire.

On peut voir facilement pour quelle valeur de α, $q_2 = q_1$. Pour $\alpha = \infty$, $q_2 = \infty$.

L'équation représente une droite symétrique par rapport au point $\alpha = 1 + \frac{C}{R}$. Nous pouvons pour plus de clarté, étudier la question d'une autre manière,

Supposons q_1 donné pour la partie où passe

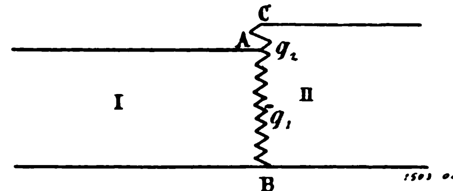


Fig. 3

seul le courant à haute tension. Prenons entre A et B (fig. 2) le point variable qui limite l'enroulement secondaire. Soit q_1 la distance entre les deux verticales. Portons vers la droite pour chaque valeur de K la valeur correspondante de q_2; nous obtenons ainsi une courbe transcendante qui dépend de q_1 R α E_1 et J_0. Toutes les valeurs en nombre infini entre A et B sont possibles.

Si nous prenons une dérivation au point C, la partie supérieure AC de l'enroulement doit avoir la section q_1 et la partie inférieure CB la section q_2.

COMPARAISON DES PERTES DANS LE CUIVRE DANS LES DEUX SYSTÈMES DE TRANSFORMATEURS

Supposons que α_1 E_1 (eff), J_1 aient des valeurs égales pour le transformateur et pour l'autotransformateur.

Soient :

W^k_{prim} les pertes dans le cuivre primaire pour le transformateur ordinaire.

W^k_{sec} les pertes dans le cuivre secondaire pour le transformateur ordinaire.

TRANSFORMATEUR

(les grandeurs qui s'y rapportent sont affectées de l'indice *t*).

primaire. — α tours parcourus par le courant J_1.

AUTOTRANSFORMATEUR

(Les grandeurs qui s'y rapportent sont affectées de l'indice *a*).

partie supérieure. (α — 1) tours parcourus par le courant J_1.

La longueur et la section sont égales.

1°) On a : W^k_{prim}

Secondaire. — 1 tour.

On a :

$$\frac{\alpha - 1}{\alpha} W^k_{prim} < W^k_{prim}$$

Partie inférieure. — 1 tour.

(Les longueurs sont égales)

Sections de fil

$q_2{}^t$ est parcouru par le courant J_2

$q^d{}_2$ est parcouru par le courant $\left[J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)\right]$

2° Pertes Joule au secondaire

$$W^k_{sec} = J^2{}_2 \frac{l}{\lambda q_2{}^t}$$

Pertes Joule dans la partie inférieure

$$\left[J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)\right]^2 \frac{l}{\lambda q^d{}_2}$$

$$= W^k_{sec} \frac{\left[J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)\right]^2 \frac{l}{\lambda q^d{}_2}}{J^2{}_2 \frac{l}{\lambda q_2{}^t}}$$

$$= W^k_{sec} \frac{\left[J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)\right]^2 \frac{l}{\lambda q_2{}^t}}{J_2{}^2 \frac{l}{\lambda q_2{}^t}} \times \frac{\frac{J_2}{J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)}}{J_2{}^2 \frac{l}{\lambda q_2{}^t}}$$

et, si la densité de courant est la même dans les deux cas, c'est-à-dire si

$$\frac{q^t{}_2}{q^d{}_2} = \frac{J_2}{J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)}$$

on a finalement

$$= W^k_{sec} \frac{J_2 - \left(\frac{J_2}{\alpha} + J_0\right)}{J_2} < W^k_{sec}$$

Pertes totales dans le cuivre

Dans le transformateur bien construit on a :

$$\Sigma W^t_k = W^k_{prim} + W^k_{sec} = 2 W^k_{prim}$$

On a :

$$\Sigma W^d_k = \frac{\alpha - 1}{\alpha} W^k_{prim} + \left[1 - \frac{1}{\alpha} - \frac{J_0}{\alpha - 1}\right] W^k_{prim}$$

$$= \left[\frac{\alpha - 1}{\alpha} + 1 - \frac{1}{\alpha} - \frac{J_0}{\alpha - 1}\right] W^k_{prim}$$

$$= \left(2 - \frac{2}{\alpha}\right) W^k_{prim}$$

Le rapport des pertes totales dans le cuivre pour ces deux appareils est

$$\frac{\sum W^d_k}{\sum W^t_k} = \frac{2 - \frac{2}{\alpha}}{2} = \frac{\alpha - 1}{\alpha}$$

Par conséquent les pertes dans le cuivre sont plus faibles dans le cas de l'autotransformateur que dans le cas du transformateur ordinaire.

Pour $\alpha = 1$ la chute ohmique à vide ne peut pas être négligée.

La répartition des pertes dans l'autotransformateur est la suivante :

$$\frac{\text{pertes dans le cuivre de la partie supérieure}}{\text{pertes dans le cuivre de la partie inférieure}} = \frac{\frac{\alpha - 1}{\alpha} W^k_{sec}}{\left[1 - \frac{1}{\alpha} - \frac{J_0}{\alpha J_1}\right] W^k_{sec}} = 1$$

Les pertes dans le cuivre de la partie supérieure doivent donc être égales aux pertes dans le cuivre de la partie inférieure.

Pertes dans le fer.

Les mêmes conditions en ce qui concerne le facteur de forme de la *f. é. m.* et la fréquence s'appliquent à l'autotransformateur et au transformateur.

La condition pour que les pertes par hystérésis soient minima est toujours

$$B_1 = B_2 = B_{max}$$

c'est-à-dire la même induction maxima dans toutes les sections.

Comme nous avons supposé dans les deux cas les mêmes sections de fer et les mêmes inductions, les pertes sont proportionnelles aux longueurs de fer. Si le noyau total est entouré de fil et si chaque bobine a la même action, le chemin des lignes de force a une longueur l dans le transformateur et une longueur $l\,\frac{\alpha}{\alpha+1}$ dans l'autotransformateur. Les pertes dans le fer de ce dernier sont donc $\frac{\alpha}{\alpha+1}$ fois plus petites que les pertes dans le fer du transformateur équivalent de construction ordinaire.

Répartition la plus favorable des pertes; échauffement total; rendement.

Etudions d'abord le cas du transformateur ordinaire,

Supposons que l'on ait : $\cos\varphi = 1$

Soient E et J les valeurs efficaces.

Les notations précédentes subsistent, avec l'indice c pour les pertes dans le fer et avec l'indice k pour les pertes dans le cuivre.

Nous supposerons toujours n multiplié par 100 pour nous rendre compte des valeurs en pour cent.

Le rendement est

$$\eta_t = \frac{E_1 J_1 - \sum W_k^t - EW_c^t}{E_1 J_1}$$

et la perte en % est

$$1 - \eta t = \frac{\sum W_k^t + \sum W_c^t}{E_1 J_1}.$$

La condition nécessaire pour que le rendement soit maximum est la suivante:

Les pertes Joule primaire et secondaire doivent être égales, et la somme des pertes dans le fer doit être égale à la totalité des pertes dans le cuivre. La perte totale est:

$$1 - \eta t = \frac{2\sum W_k^t}{E_1 J_1}$$

Pour l'autotransformateur, le rendement et les pertes en % sont différentes

$$1 - \eta d = \frac{\sum W_k^t \cdot \frac{\alpha - 1}{\alpha} + \sum W_c^t \frac{\alpha}{\alpha + 1}}{E_1 J_1}$$

$$1 - \eta_t l \quad \frac{\sum W_k^t}{E_1 J_1}\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} + \frac{\alpha}{\alpha + 1}\right)$$

$$= \frac{2\sum W_k^t}{E_1 J_1}\left(\frac{\alpha^2 - \frac{1}{2}}{\alpha^2 + \alpha}\right) = (1 - \eta_t)\left(\frac{\alpha^2 - \frac{1}{2}}{\alpha^2 + \alpha}\right)$$

qui n'est valable que pour $\alpha > 1$.

Les pertes en % sont plus faibles que dans le transformateur ordinaire et le rendement est plus élevé.

Dans le transformateur ordinaire le rapport des pertes dans le cuivre et dans le fer est

$$\frac{\sum W_k^t}{\sum W_c^t} = 1$$

dans l'autotransformateur il est :

$$\frac{\sum W_k^t \frac{\alpha - 1}{\alpha}}{\sum W_c^t \frac{\alpha}{\alpha + 1}} = \frac{\alpha^2 - 1}{\alpha^2}$$

La valeur de ce rapport se rapproche de l'unité lorsque α croît.

Les pertes totales dans le cuivre doivent donc être les $\frac{\alpha^2 - 1}{\alpha^2}$ des pertes dans le fer.

En résumé, l'autotransformateur offre sur le transformateur ordinaire les avantages suivants :

Frais de construction moins élevés, puisqu'il exige moins de cuivre.

Frais d'exploitation moins élevés, puisque le courant à vide est plus faible et le rendement est plus élevé.

E. B.

ACCUMULATEURS

ÉLÉMENTS GALVANIQUES ET ACCUMULATEURS

Centralblatt für Accumulatoren, 15 septembre

Élément galvanique par **P. J. Kamperdyk**, pat[t] americ[t], 763-674, du 14 oct. 1903, publiée le 22 juin 1904.

L'électrode de charbon a une grande surface, une faible résistance et un faible encombrement. Dans le récipient rectangulaire A (fig. 1) sont placés 3 récipients poreux ouverts BB^1B^1 dont le fond est maintenu dans une couche de bitume A_1. Les récipients sont séparés et tenus en place par les pièces B^2. Les électrodes négatives c y sont introduites par des ouvertures et sont formées de deux plaques de zinc. Les électrodes de charbon sont le plus rapprochées possible des parois du récipient et sont maintenues aussi vers le bas par la couche isolante A_1. Elles sont constituées

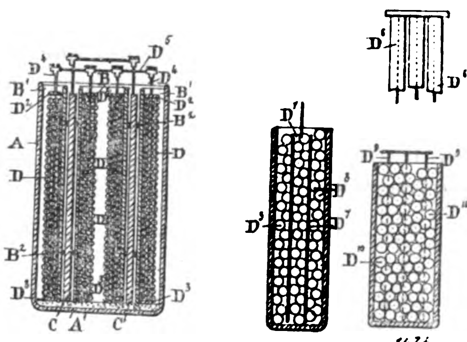


Fig. 1, 2, 3 et 4

par des perles sphériques D juxtaposées enfilées sur des fils de cuivre recouverts d'un métal inattaquable, de platine par exemple. Les fils sont fixés haut et bas à des plaques de cuivre D^2D^3, qui, au voisinage de tous les points d'attache, sont recouvertes d'un métal inattaquable (du plomb par exemple). Les plaques supérieures D^2 sont reliées ensemble par les fils D^4D^5. Les chapelets de perles de charbon sont placés en rangées parallèles à la plaque de zinc : le liquide dépolarisant peut circuler facilement entre ces chapelets quoi qu'ils soient très rapprochés les uns des autres, grâce à la forme sphérique des éléments de charbon. Au lieu de sphères, on peut placer sur les fils des cylindres de charbon fixes (fig. 2). Cette forme est plus solide et plus stable, mais nécessite un dispositif pour écarter les cylindres les uns des autres afin de permettre la libre circulation de l'électrolyte. On peut aussi entasser des petites sphères ou de petits boutons D^8 entre des plaques D^7 (fig. 3) conductrices et inattaquables, et entre ces plaques et les parois ; on peut également (fig. 4), placer dans un vase poreux une âme en fil D^9 et la remplir ensuite de sphères D^{10} ou de petits morceaux de charbon. Dans les deux cas l'espace réservé à la circulation est limité. Dans tous les dispositifs on peut, pour augmenter la conductibilité de l'électrode positive, mélanger les morceaux de charbon avec des fils fins en métal inattaquable. Il n'est pas avantageux de remplacer la forme sphérique par des formes cylindriques, rondes ou autres, régulières ou irrégulières.

Élément galvanique **Kamperdyk,** pat[t] americ[t], 764-813, 26 décembre 1902, publiée le 12-7-04.

Pour donner à l'électrode de zinc une durée active plus grande que jusqu'alors, on y incorpore un réseau de fils en métal bon conducteur et inattaquable. Dans ce but on emploie des fils de cuivre revêtus par exemple de platine que l'on place côte à côte et que l'on soude en haut à une prise de courant, puis sur lesquels on coule du zinc fondu. Les fils renforcent la plaque amalgamée dans la masse et assurent la liaison électrique des particules qui, par suite de l'attaque progressive du zinc, tendent à se séparer. En outre ce cadre, qui peut avoir une autre forme et une autre composition, augmente la conductibilité de la plaque.

Récipient d'élément isolé. — **G. Apple,** pat[e] am[e], 767-323, 9 Nov. 1903, accordée le 9-8-04.

Alors que jusqu'à présent on plaçait les différents éléments de la batterie dans une caisse extérieure isolante, il est plus avantageux de constituer le récipient de chaque élément de telle façon qu'il puisse être utilisé directement comme une partie de la batterie totale. Dans ce but il doit posséder la rigidité, la résistance et les propriétés chimiques d'un récipient métallique avec l'élasticité, la solidité, la densité et le pouvoir isolant des caisses isolantes actuelles. L'inventeur recouvre une caisse métallique d'une matière molle isolante (par exemple du caoutchouc) qu'il durcit ensuite (par exemple par vulcanisation) de telle manière que le métal et l'isolant soient intimement liés.

Par exemple la caisse métallique 10 (fig. 5), qui porte des encoches 11 pour le maintien de la

matière active, est munie du revêtement en caoutchouc 12 que l'on vulcanise directement. Des supports isolants 14 maintiennent l'électrode 13 (formée par exemple d'une grille double). On peut aussi (fig. 6) munir un cylindre 10_a de trous

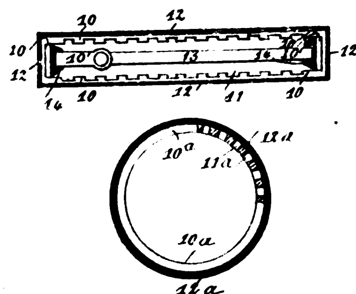


Fig. 5 et 6

11_a pour le maintien de la matière active, et le recouvrir extérieurement de caoutchouc 12_a. On peut également prendre 4 plaques perforées non réunies ensemble et les recouvrir d'une couche de caoutchouc qui en fait une caisse. L'invention est également applicable aux éléments primaires.

Amélioration aux Éléments Secondaires. — **Edward Christophe Ekstromer et G. Hamilton Lloyd,** pat^e angl^e, 773, 3 avril 1903, accordée le 2 septembre 1904.

Le noyau de la plaque doit être poreux, doit résister à l'acide, avoir un poids inférieur à celui d'un noyau métallique et pouvoir supporter l'oxyde actif en présentant une grande surface. Ces conditions sont remplies par le crin ou les cheveux. Le tissu est fait dans le sens transversal de la plaque et est maintenu par un cadre en plomb

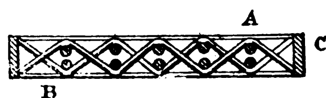


Fig. 7

antimonié : le remplissage avec la matière active est fait avantageusement sous pression ou dans le vide. On peut mélanger à la matière active de la pâte de porcelaine ou d'autres matières appropriées. Dans la section de la figure 7, A représente le noyau tissé de la plaque, maintenu par un réseau de fils métalliques ou de barrettes.

Accumulateur **Willard.** — Pat^e amer^e, 765060, 13 août 1903, publiée le 12 septembre 1904.

Dans l'ébonite qui doit entourer l'électrode sur les côtés et en dessous, on souffle des cavités coniques que l'on perce ensuite. L'ébonite ne perd pas ainsi son élasticité et sa résistance comme cela se produit avec les systèmes de perforation ordinaires. Les cavités coniques dont la grande ouverture est placée contre la plaque, forment des pochettes pour la matière active et permettent à une grande surface d'être soumise à l'action de l'électrolyte. Les séparateurs ont en outre, des nervures verticales qui forment, lorsqu'on assemble les plaques, des courants pour la libre circulation de l'électrolyte.

Accumulateur **John A. Lyons et E.-C. Broadwell.** — Pat^e amer^e, 766-958, 25 septembre 1903, accordée le 19 octobre 1904.

Pour que l'accumulateur puisse conserver plus longtemps sa charge, on emploie un électrolyte neutre ou faiblement basique. De plus on doit obtenir une capacité élevée sous un faible poids. Le récipient métallique A (fig. 8) est recouvert, au fond et sur les côtés, d'un tissu a. Les pointes b b^1 b^2 en charbon ou en matière isolante main-



Fig. 8

tiennent écartée du récipient une anode B en graphite, en platine iridié ou en autre matière inerte. Celle-ci est entourée d'une pâte B^1 contenant des carbures d'hydrogène (charbon de bois ou de cornue, graphite) et des oxydes de métaux possédant plusieurs degrés d'oxydation (comme le Plomb, le Nickel, le cobalt, etc.).

La masse est mélangée avec une solution d'un haloïde basique du sel ou un composé équivalent du métal. En pratique, on emploie comme électrolyte un sel de zinc ; par exemple de l'oxychlorure, ou bien du chlorure ou bromure contenant de l'oxyde ou de l'oxyde hydraté.

***Plaque d'accumulateur* Porter.** — Brevet allemand, 154-357, mars 1902, publié le 12 octobre 1904.

Le mode de construction de la plaque empêche toute chute de matière active et, par suite, tout court-circuit intérieur, de plus il assure un contact électrique parfait entre la matière active et la connexion de courant. Pour cela la plaque est enfermée dans une enveloppe en plomb perforé, mais, tandis que primitivement cette enveloppe en plomb perforé était prise comme support de la matière active, il y a dans la nouvelle plaque un support intérieur et l'enveloppe ne sert qu'à empêcher la matière active de tomber, et à assurer un bon contact. Les trous sont percés dans l'enveloppe de plomb, lorsque la plaque est complètement terminée ; de cette façon les bavures des trous vers l'intérieur pénètrent dans la pâte. La fabrication de la plaque est faite de la manière suivante : on empâte un grillage de matière active, puis on l'entoure d'une feuille de plomb mince et on le porte à la presse ; dans cette opération la plaque est comprimée et les trous sont percés du même coup.

R. V.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ASSOCIATIONS FRANÇAISES DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR AYANT UN SERVICE ÉLECTRIQUE

Suite [1]

Règles pour les offres, la fourniture et les essais des Machines électriques et Transformateurs, rédigées par les Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur ayant un service électrique (Amiens, Lyon, Nancy, Nantes), l'Association des Industriels du Nord de la France (Lille) et l'Association normande pour prévenir les accidents du travail (Rouen) — *(Édition 1904)*.

Mesure des températures

§ 11. — Les températures des enroulements électriques seront mesurées :

a) Pour les circuits inducteurs traversés par un courant continu : *toujours par augmentation de résistance ;*

b) Pour les induits à collecteurs : *toujours par thermomètre* ;

c) Pour tous les autres circuits : autant que possible *par les deux procédés*, en prenant *la plus élevée* des valeurs trouvées.

Pour déduire la surélévation de température de l'augmentation de résistance, on ramènera à 0° les résistances mesurées en admettant comme coefficient de température du cuivre la valeur constante de 0,004.

Dans toutes les mesures par thermomètre on appliquera celui-ci au point accessible le plus chaud.

Le thermomètre indiquant la températeur ambiante sera placé dans l'axe de la machine et à 1 mètre en avant du palier, en tenant compte des circonstances locales.

La température ambiante sera maintenue aussi constante que possible ; si elle varie pendant la durée de l'essai on prendra la moyenne du dernier quart de l'essai.

AUTO-RÉGULATION.

12. — Le coefficient d'auto-régulation de tension ou de vitesse est défini par le rapport des variations de tension ou de vitesse aux tensions ou vitesses à charge nominale.

Il sera spécifié dans chaque cas à la commande

§ 13. — La variation de tension pour les génératrices sera obtenue en passant de la charge nomicale à la marche à vide à vitesse constante :

a) pour les machines auto-excitatrices à courant continu, en maintenant constante la résistance dans le circuit inducteur dérivé ;

b) pour les génératrices à courant continu à excitation séparée et pour les génératrices à courants alternatifs, en maintenant constant le courant d'excitation.

Pour les machines à courant continu, la position des balais sera maintenue fixe et à la position de la charge nominale, à moins de conventions contraires.

§ 14. — La variation de vitesse pour les réceptrices s'obtiendra de même en passant de la charge nominale à la marche à vide, en maintenant constantes aux bornes : la tension pour le courant continu et pour les courants alternatifs la tension et la fréquence.

[1] Voir *l'Eclairage Electrique* du 17 décembre 1904.

(Pour les moteurs d'induction, l'indication du coefficient d'auto-régulation est souvent remplacée par celle du glissement, qui en diffère légèrement et se définit par le rapport de la variation de vitesse à la vitesse du synchronisme).

§ 15. — Pour les transformateurs, le coefficient d'auto-régulation s'obtiendra en passant de la charge nominale à la charge nulle au secondaire, à fréquence et tension constantes au primaire.

§ 16. — Pour les commutatrices et moteurs-générateurs, on fera varier la charge débitée de la valeur nominale à 0, en maintenant tension et fréquence constantes aux bornes réceptrices.

§ 17. — Pour les génératrices à courants alternatifs et les transformateurs, la variation de tension sera spécifiée pour la puissance nominale en (KVA):

a) Avec un facteur de puissance égal à l'unité;

b) Avec le facteur de puissance prévu ou, à son défaut, à un facteur égal à 0,8.

Commutation.

§ 18. — A moins de spécifications contraires, les machines à collecteur devront, une fois les balais réglés à la position la plus favorable, marcher sans étincelles appréciables et sans décalage des balais à toutes les charges comprises entre la marche à vide et la charge nominale, même dans le cas de variations brusques de courant.

En marche continue et à une charge quelconque entre les limites précitées, le fonctionnement du collecteur sera tel que des soins quelconques (nettoyage ou graissage) ne soient nécessaires qu'à des intervalles de douze heures de marche. Cette condition s'applique également aux bagues de prise de courant.

Rendement.

§ 19. — On distinguera:

$$a) \text{ Le rendement} = \frac{\text{puissance utilisable}}{\text{puissance absorbée}}.$$

$$b) \text{ Le rendement mesurable} = \frac{\text{puissance utilisable}}{\text{puissance utilisable + pertes totales mesurables}}.$$

$$c) \text{ Le rendement électrique mesurable (1)} = \frac{\text{puissance utilisable}}{\text{puissance utilisable + pertes électriques mesurables}}.$$

(1) Ne pas confondre cette expression avec celle de Rendement électrique $= \frac{\text{puissance électrique utilisable}}{\text{puissance électrique totale}}$

§ 20. — Quand les puissances utilisable et absorbée pourront être mesurées directement *avec une précision suffisante*, le rendement à indiquer et à mesurer est celui défini par *a)*. Dans tous les autres cas, les rendements à indiquer seront ceux définis par *b)* et *c)*; ils devront s'adapter aux conditions possibles de l'essai. La mesure en sera faite par la méthode des pertes séparées.

§ 21. — Ces pertes se décomposent comme suit:

Pertes mécaniques:

Frottement des paliers et ventilation;

Frottement des balais sur les collecteurs et bagues.

Pertes électriques:

Hystérésis et courants de Foucault;

Effets Joule dans tous les enroulements (excitation, induit, enroulements primaire et secondaire);

Résistance de contact des balais.

§ 22. — Les chiffres donnés pour le rendement s'entendent, sauf indications contraires, pour la charge nominale et en y comprenant les pertes dues aux appareils auxiliaires tels que: rhéostat, excitatrice, ventilateur, pompes de circulation, etc. (1).

Pour les génératrices à courants alternatifs, le rendement sera indiqué à la charge nominale en (KVA):

a) Avec un facteur de puissance égal à l'unité;

b) Avec un facteur de puissance égal à 0,8.

§ 23 — Il est entendu que les mesures devront être faites ou ramenées à la température atteinte après le fonctionnement défini aux §§§ 8, 9 et 10.

De même la détermination des pertes à vide se fera à la vitesse constante de régime et à la tension normale augmentée ou diminuée de la perte ohmique. Pour les machines à collecteur, la position des balais ne différera de la position à la charge nominale que dans la mesure nécessaire pour éviter les étincelles.

Surcharges.

§ 24. — Toute machine doit pouvoir supporter sans détérioration (et sans étincelles nuisibles pour les machines à collecteur) une surcharge de

(1) Dans le cas où ces appareils auraient en plus une autre destination, on imputera à la machine considérée sa part proportionnelle de puissance absorbée par l'appareil auxiliaire, ou on indiquera séparément les rendements de la machine principale et des appareils auxiliaires.

courant ou de couple de 20 p. 100 pendant 1/10 de la durée d'essai spécifiée au § 8.

Les transformateurs supporteront cette surcharge pendant une heure.

En plus, les moteurs à marche prolongée [1] et les transformateurs supporteront une surcharge de 40 p. 100 pendant trois minutes.

Pour les alternateurs, cette surcharge s'entend avec le facteur de puissance prévu.

§ 25. — Toutes les génératrices à courant continu ou alternatif devront, à la vitesse normale, pouvoir maintenir leur tension de régime pendant toute la durée de la surcharge.

§ 26. — En plus des surcharges de puissance spécifiées ci-dessus, les machines devront pouvoir supporter un surcroît de vitesse, qui, pour les génératrices, sera à fixer dans chaque cas en tenant compte du mode de commande.

Les moteurs à courant continu devront pouvoir supporter pendant cinq minutes une vitesse de 30 p. 100 supérieure à la vitesse normale.

ESSAIS DE SURTENSION

§ 27. — Toutes les machines de plus de 1 kilowatt et les transformateurs (quelle que soit leur puissance) devront pouvoir supporter *au moment de la réception* deux essais de surtension.

Pour le *premier*, la tension d'essai (autant que possible de même nature que celle de la machine à essayer) sera produite par une source indépendante, et sa valeur sera déterminée par la deuxième colonne du tableau ci-dessous. Cette tension sera appliquée entre les enroulements et la masse, et entre les différents enroulements d'un même appareil, en prenant pour base normale, dans ce dernier cas, la tension la plus élevée des enroulements essayés ensemble.

Deux enroulements complètement distincts, qui ne pourraient avoir de défaut que par la masse (induit et inducteur par exemple) n'ont pas besoin d'être essayés l'un par rapport à l'autre.

Pour les enroulements secondaires des moteurs d'induction, c'est la tension au démarrage qui sera considérée comme tension normale.

Pour le *deuxième essai*, destiné à éprouver *l'isolation intérieure* des enroulements, les machines et transformateurs devront pouvoir produire (génératrices) ou absorber (moteurs, commutatrices, transformateurs) les tensions d'essai spécifiées par la troisième colonne du tableau ci-dessous, à moins toutefois que d'autres raisons, telles que vitesse trop grande à appliquer ou courant trop fort absorbé, ne s'y opposent.

Pour les deux essais, la tension d'essai sera amenée progressivement à sa valeur maxima et maintenue à cette valeur pendant *cinq minutes*.

TENSION NORMALE	TENSION D'ESSAI À APPLIQUER [1]	TENSION D'ESSAI À PRODUIRE OU À ABSORBER
Jusqu'à 3000 volts	Deux fois la tension normale (minimum 500 volts)	Une fois et demie la tension normale.
4000 —	7500 volts	5800 volts
5000 —	8800 —	6900 —
6000 —	10200 —	8100 —
7000 —	11700 —	9100 —
8000 —	13300 —	10700 —
9000 —	14800 —	11900 —
10000 —	16300 —	13200 —
12000 —	19300 —	15500 —
15000 —	24000 —	19500 —
20000 —	31000 —	25500 —
25000 —	38000 —	31500 —
30000 —	45000 —	37500 —

(1) Les valeurs de ce tableau ont été déterminées (à partir de 5.000 V) par la condition que les distances explosives des tensions d'essai à appliquer soient doubles de celles des tensions normales.

(*A suivre*).

[1] A l'exception des moteurs synchrones et à synchrones monophasés, dont la surcharge ne devra pas dépasser 20 p. 100.

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BERTAUCHE

Le Gérant : A. BONNET.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques - Mécaniques - Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES CONTACTS IMPARFAITS (1)

L'étude des cohéreurs ou appareils à contacts imparfaits offre un double intérêt; au point de vue scientifique, elle donne un exemple d'exception à la loi d'Ohm ; au point de vue pratique, elle trouve une application étendue en télégraphie sans fil.

La base du phénomène à étudier réside dans la variation (augmentation ou diminution) de la résistance des contacts imparfaits sous l'influence de décharges électriques ou de courants électriques. Après avoir donné les formes les plus différentes à ces contacts, on s'est occupé d'étudier leurs courbes caractéristiques en représentant graphiquement les relations entre la différence du potentiel aux bornes du cohéreur et l'intensité du courant, ou entre la tension d'excitation et la résistance. Tandis que, pour les résistances ordinaires obéissant à la loi d'Ohm, on trouve comme courbe caractéristique une droite passant par l'origine, les cohéreurs sont caractérisés par des courbes de forme hyperbolique. On a désigné sous le nom de tension critique la valeur de la différence de potentiel correspondant au point d'inclinaison de la courbe. Cette désignation est très contestable. Dans un groupe particulier de cohéreurs, dont font partie ceux qui ont un seul contact ou peu de points de rupture, on a trouvé (Guthe et Trowbridge) que, pour une intensité de courant croissante, la différence de potentiel aux bornes prend une valeur constante dépendant seulement de la substance et croissant proportionnellement au nombre des points de contact. C'est cette différence de potentiel constante que Guthe et Trowbridge nomment critique. Récemment,

(1) Traduction libre extraite des « Communications de la Société de Physique de Zürich ».

**

Ph.-E. Robinson a montré que la différence de potentiel peut atteindre une valeur multiple de la différence de potentiel dite critique, puis tombe brusquement à cette dernière valeur et reste constante quand l'intensité continue à croître. Robinson nomme tension critique celle qui précède immédiatement la chute de tension, et il appelle tension d'équilibre la différence de potentiel constante. Cet auteur trouve que la tension critique dépend de la pression au point de contact, ainsi que de la nature et de l'épaisseur de la couche intermédiaire non conductrice; la tension d'équilibre ne dépend que de la substance employée.

Les courbes caractérisques ont toujours été prises jusqu'ici en soumettant les appareils à du courant continu. Le courant alternatif n'a été employé que par Guthe qui excitait un cohéreur par du courant continu et mesurait ensuite la résistance au moyen d'un courant alternatif faible par la méthode du pont avec téléphone.

Il nous a paru intéressant de prendre pour quelques cohéreurs les courbes caractéristiques pour du courant continu et du courant alternatif, et de comparer ensuite les résultats. C'est à cette étude qu'est consacrée la première partie de notre travail. Pour éviter la mesure de courants alternatifs très faibles, nous avons employé des cohéreurs à contacts multiples pour lesquels il fallait une plus grande tension d'excitation.

La seconde partie est consacrée à l'étude d'un cohéreur en acier à un seul contact faite pour une variation aussi grande que possible de l'intensité de courant, afin de voir si la tension d'équilibre restait réellement constante. De plus, nous avons essayé de tracer les courbes caractéristiques d'un cohéreur ayant comme couche intermédiaire non conductrice différents liquides et de déterminer la tension d'équilibre. Le fait que l'action du cohéreur peut se produire également dans les liquides a été observé par Aschkinass pour l'alcool méthylique, par Hulh pour l'huile de paraffine, par Hurmuzescu pour la glycérine et la benzine. Robinson a réussi à faire des mesures de la tension critique pour le pétrole, mais s'est heurté à de grandes difficultés, parce que les moyens d'étude dont il disposait n'étaient pas appropriés au but poursuivi.

I. Cohéreurs a contacts multiples. — Méthode d'étude

Les expériences ont été faites avec deux cohéreurs à vis d'acier et un cohéreur à nickel.

Les cohéreurs à vis consistaient en petits tubes en ébonite de $0{,}05^{mm}$ et de $0{,}37^{mm}$ de longueur. Ils étaient fermés aux deux bouts par des électrodes en laiton. Celles-ci portaient, perpendiculairement à l'axe du tube, un trou rempli de mercure servant aux connexions nécesaires.

Le cohéreur n° 1 avait un écartement de $0{,}25^{mm}$ entre électrodes et était rempli de vis de montre de 5,05 à $0{,}06^{mm}$ de longueur.

Le cohéreur n° 2 avait un écartement de $0{,}15^{mm}$ et était rempli de vis d'environ $0{,}03^{mm}$ de longueur.

Le cohéreur à nickel était constitué par un petit tube en verre avec trois électrodes d'argent et deux zones de rupture. L'écartement des électrodes était environ $1{,}5^{mm}$.

L'excitation du cohéreur et la mesure de sa résistance étaient faites de la manière suivante :

Une batterie d'accumulateurs B, ou un transformateur dans le cas du courant alternatif, étaient reliés à une résistance de Wolff de 100.000 ohms. Sur cette résistance, formant potentiomètre, étaient branchés deux fils aboutissant aux godets *a* et *a'* (fig. 1) d'un commutateur à bascule. Le cohéreur C était relié aux godets *b* et *b'* ; *c* et *c'* étaient reliés aux bornes d'un galvanomètre Desprez d'Arsonval contenu dans un circuit de grande résis-

tance w (500.000 ohms), soumis à une différence de potentiel variable grâce au potentiomètre W_1 relié à un accumulateur A.

Lorsqu'on faisait, au commutateur, la connexion 1, le cohéreur était soumis à la différence de potentiel excitatrice modifiable à volonté par le jeu du potentiomètre W. Cette différence de potentiel était ou bien mesurée au moyen d'un voltmètre relié aux extrémités du cohéreur (seulement pour du courant continu et pour quelques observations), ou bien déduite de la mesure de la différence de potentiel aux bornes de la batterie ou du transformateur, faite au moyen d'un voltmètre de précision Siemens et Halske.

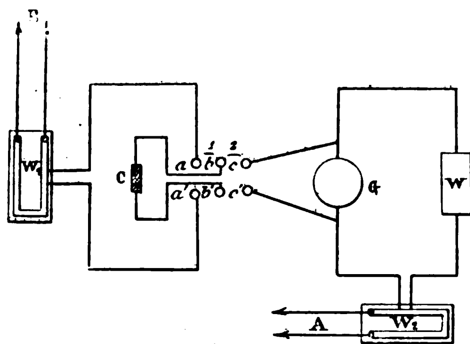


Fig. 1

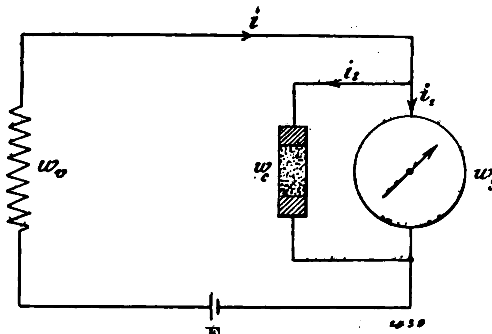


Fig. 2

Lorsqu'on faisait, au commutateur, la connexion 2, on mettait le cohéreur en parallèle avec le galvanomètre, et l'on effectuait ainsi la mesure de sarésistance après excitation.

Soient w_v la résistance du circuit;
w_g celle du galvanomètre;
w_c celle du cohéreur;
i l'intensité totale du courant;
i_1 l'intensité dans le galvanomètre;
i_2 l'intensité dans le cohéreur.

On a les relations :

$$i_2 = i - i_1$$
$$i_1 w_g - i_2 w_c = o$$
$$i_1 w_g = (i - i_1) w_c$$
$$w_c = w_g \frac{i_1}{i - i_1}$$

i_1 est mesuré directement par le galvanomètre, mais i est inconnu.

Soit i_0 l'intensité du courant dans le circuit, avant que le cohéreur soit en parallèle avec le galvanomètre.

$$i_o = \frac{E}{w_g + w_g}$$
$$i = \frac{E}{w_v + \frac{w_g \cdot w_c}{w_g + w_c}}$$

Comme la résistance w_v est élevée, on peut, avec une exactitude suffisante, remplacer par i_o

On trouve alors

$$w_c = w_g \frac{i_1}{i_0 - i_1}$$

Soient s_1 et s_0 les déviations du galvanomètre correspondantes à i_1 et i_0, on a

$$w_c = w_g \frac{s_1}{s_0 - s_1}$$

La mesure de la résistance du cohéreur nécessite donc la connaissance de la résistance du galvanomètre et de ses deux déviations.

La résistance du galvanomètre fut déterminée à 3 températures différentes

w = 894,2 ohms à 15°9
897,2 17°
900,1 17°8,

Pendant le cours des observations, les températures ont toujours été comprises dans cet intervalle. Pour chaque série d'observations, on introduisait dans la formule la valeur de la résistance correspondant à la température lue.

Les expériences furent faites de la façon suivante : La dérivation prise sur la résistance W_2 était telle que le galvanomètre effectue une déviation suffisante s_0. Lorsqu'on plaçait en parallèle le cohéreur non excité, la déviation restait la même. Ensuite on plaçait le basculeur dans la position 1 pour une faible tension d'excitation. Cette connexion durait à chaque fois exactement 1″; en plaçant ensuite le cohéreur en parallèle avec le galvanomètre, on trouvait une déviation plus faible s_1 : un léger choc ramenait la résistance à sa valeur primitive, et l'on recommençait en augmentant peu à peu la tension d'excitation. Pour chaque valeur de celle-ci, on faisait au moins 10 observations.

La concordance entre les différentes observations n'est en général pas bonne. Les écarts sont considérables au début, quand la résistance diminue beaucoup ; ils sont plus petits quand la valeur de la résistançe s'abaisse. On s'en rend compte par l'examen des courbes.

En ce qui concerne la tension d'excitation, il faut remarquer que, dans cette méthode, la valeur qui intervient est celle à laquelle sont soumises les extrémités du cohéreur, avant que l'action se produise.

Dès que la résistance diminue, la différence de potentiel diminue aussi.

Au contraire, dans les expériences décrites dans la deuxième partie, c'est la valeur finale de la différence de potentiel qui a été observée. Cette différence explique la différence entre le mode de représentation graphique des résultats d'observation.

Résultats d'observation pour du courant continu

Les résultats trouvés pour les 3 cohéreurs sont résumés dans les tableaux suivants et dans les courbes.

a) Cohéreur a nickel

1re série d'observations : $s_0 = 400{,}3$ $w_G = 900^{\Omega}$

p	s_1	w_c
3,5v	(409,3)	∞
7,0	(419,3)	∞
10,5	318,0	3477Ω
14,0	188 7	803
17,5	125,1	409
21,0	88,9	257
24,5	72,8	200
28,0	57,0	149
31,5	44,5	113
35,0	20,0	47,3
41,2	19,0	44,9
49,0	17,2	40,4

2e série d'observations : $s_0 = 400{,}9$ $w_G = 900^{\Omega}$

p	s_1	w_c
3,5v	(411,2)	∞
7,0	(423,0)	∞
10,5	288,0	2296Ω
14,0	233,7	1258
17,5	169.9	662
21,0	132,1	442
24,5	94,6	278
28,0	75,1	207
31,5	58,4	153
35,0	34,5	84,7
41,2	14,4	33,5
49,0	15,2	35,5

Comme on le voit, pour la différence de potentiel 3,5 volts et 7 volts, on a $s_1 > s_0$ alors que la valeur maxima s_1 devrait être s_0, tant que le cohéreur a une résistance infinie. Ce phénomène ne peut être expliqué que par l'existence d'une nouvelle f. é. m. La déviation n'était qu'instantanée et ne se produisait que pour du courant continu. Les chiffres suivants montrent l'augmentation de la déviation avec l'accroissement de tension.

p.	*s.*	*p.*	*s.*	*p.*	*s.*
3,5ᵛ 7,0 10,5 14,0	14,7 28,0 36,3 48,6	3,5ᵛ 7,0 10,5	6,6 15,7 25,9	3,5ᵛ 7,0 10,5 14,0 17,3	6,1 14,7 28,4 37,4 51,8

La déviation n'augmente pas proportionnellement à la différence de potentiel et n'a pas toujours la même valeur pour une valeur déterminée de cette dernière.

Lorsqu'on modifiait le sens du courant dans le cohéreur, le sens de la déviation changeait. Il en résulte que le phénomène dépend de la capacité du cohéreur. Une preuve en est donnée par le fait que l'action augmentait jusqu'à une valeur limite, lorsque la durée de l'excitation était accrue. Un cohéreur à faible écartement d'électrodes peut donc agir comme condensateur pour des tensions insuffisantes pour modifier sa résistance. La capacité du cohéreur et une grandeur variable correspondant à l'état variable du système total.

b) COHÉREUR A VIS N° 1

1re série d'observations : $s_0 = 470,4$ $w^G = 900^\Omega$

p	s_1	w_c
7,0ᵛ	455,5	27510Ω
10,5	432,1	10160
14,0	355,6	2788
17,5	295,2	1516
21,0	228,7	852
24,5	176,7	541
28,0	123,9	322
31,5	73,5	167
35,0	28,7	58,5
41,2	24,1	48,6
49,0	15,8	31,3
56,0	14,8	29,2

2e série d'observations : $s_0 = 470,4$ $w^G = 900^\Omega$

p	s_1	w_c
7,0ᵛ	451,7	21740Ω
10,5	421,8	7818
14,0	389,7	4345
17,5	321,4	1941
21,0	227,7	845
24,5	186,0	588
28,0	112,8	284
31,5	51,6	111
35,0	38,6	80,5
41,2	23,6	47,5
49,0	17,9	35,6
56,0	14,0	27,6

3e série d'observations : $s^0 = 470,4$ $w^G = 900^\Omega$

p	s_1	w_c	*p*	s_1	w_c
7,0ᵛ	460,7	42750Ω	28,1	99,6	242
10,5	414,7	6700	31,5	68,2	153
14,1	355,9	2797	35,0	39,0	81,4
17,7	296,2	1530	41,2	21,9	43,9
21,1	208,9	719	49,0	18,9	37,7
24,6	154,2	439	56,0	13,0	25,6

c) COHÉREUR A VIS N° 2

1re série d'observations : $s_0 = 467,5$ $w^G = 897^\Omega$

p	s_1	w_c
8,0v	464,9	160400Ω
10,0	425,3	9049
12,0	365,2	3203
14,0	301,9	1635
16,0	167,2	500
18,0	147,5	413
21,0	104,1	257
24,0	77,6	179
27,0	76,6	175
30,0	60,2	132
33,0	35,2	73,0
36,0	36,3	75,5

2e série d'observations : $s_0 = 467,5$ $w^G = 897^\Omega$

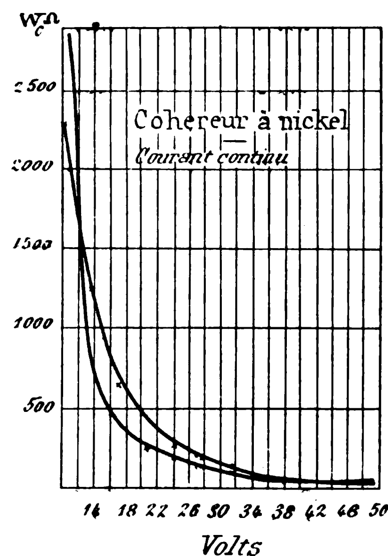
p	s_1	w_c
36,0v	29,1	59,5Ω
33,0	31,4	64,6
30,0	33,1	68,3
27,0	67,1	150
24,0	88,6	210
21,0	109,2	273
18,0	142,9	395
16,0	169,4	519
14,0	308,9	1747
12,0	375,0	3636
10,0	457,2	39820
8,0	463,4	101380

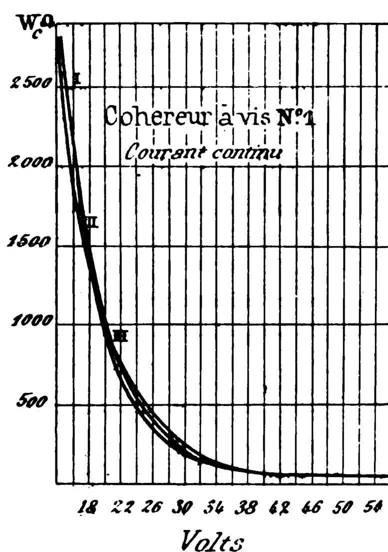
3e série d'observations : $s_0 = 467,5$ $w^G = 897^\Omega$

p	s_1	w_c
8,8v	464,2	126080Ω
10,0	457,6	41458
12,0	410,8	6499
14,0	256,2	1088
16,0	164,6	488
18,0	109,2	273
21,0	110,6	278
24,0	55,9	121
27,0	57,7	126
30,0	63,9	142
33,0	35,5	73,6
36,0	29,9	61,3

4e série d'observations : $s_0 = 467,5$ $w^G = 899^\Omega$

p	s_1	w^v
36,0v	27,4	55,9Ω
33,0	36,0	74,8
30,0	53,3	115
27,0	53,5	116
24,0	116,2	297
21,0	131,3	350
18,0	164,6	488
16,0	193,3	632
14,0	217,0	776
12,0	320,0	1948
10,0	446,1	18698
8,0	463,7	109470





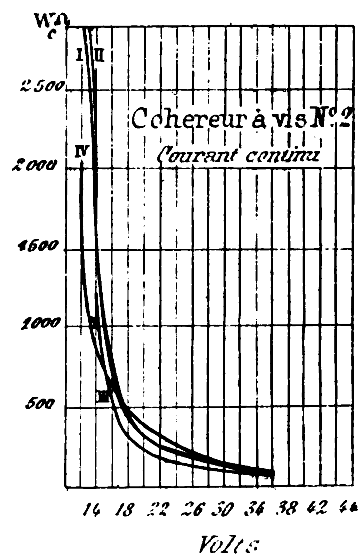


Fig. 3

RÉSULTATS D'OBSERVATION POUR DU COURANT ALTERNATIF

Les expériences ont été conduites de la même manière que pour le courant continu. Mais, pour chaque point, il fallait mesurer plusieurs fois la différence de potentiel, tandis que, avec du courant continu, elle restait absolument constante pendant toute une série d'observations. Les valeurs données pour la différence de potentiel sont des valeurs moyennes.

a) COHÉREUR A NICKEL

1re série d'observations : $s_0 = 400{,}1$ $w^G = 900^{\Omega}$

p	s_1	w_c
6,9^{v}	550,0	1507Ω
10,5	179,4	732
14,9	152,5	554
17,5	109,1	337
21,1	97,1	288
24,5	80,5	227
28,1	54,9	143
31,0	44,8	113
35,0	36,2	89,5
41,3	28,9	70,1
48,9	27,0	65,1

2e série d'observations : $s_0 = 400{,}7$ $w^G = 900^{\Omega}$

p	s_1	w_c
7,1^{v}	246,0	1431Ω
10,0	193,6	841
13,8	158,3	588
17,5	133,1	448
21,0	94,3	277
24,3	57,8	152
28,0	41,2	103
31,3	26,2	63,0
34,9	14,8	34,5
41,1	14,6	34,0
48,9	10,4	24,0

b) COHÉREUR A VIS N° 1

1re série d'observations : $s_0 = 471{,}4$ $w^G = 900^{\Omega}$

p	s_1	w_c
7,0^{v}	460,1	36640Ω
10,6	410,2	6030
14,1	327,2	2042
17,7	250,0	1016
20,9	192,0	618
24,5	134,4	359
27,8	79,2	182
31,2	51,1	109
34,0	20,3	40,5
41,1	18.2	36,1

2e série d'observations : $s^0 = 470{,}4$ $w^G = 900^{\Omega}$

p	s_1	w_c
7,0^{v}	444,8	15640Ω
10,5	400,4	5147
14,0	309,2	1727
17,5	265,7	1168
21,0	169,2	505
24,4	133,3	356
28,0	90,5	214
31,3	50,6	108
34,8	17,0	33,7
40,9	20,0	40,0
49,0	13,6	26,8
55,8	12,2	24,0

3e série d'observations : $s_0 = 469{,}4$ $w^G = 900^{\Omega}$

p	s_1	w_c	p	s_1	w_c
9,0^{v}	433,5	10870Ω	27,8	70,3	158
10,2	356,3	2835	31,4	51,7	111
14.0	289,0	1442	35,0	16,4	32,6
17,5	240,6	947	41,3	17,6	35,1
21,0	189,2	608	48,7	11,2	22,0
24,6	144,6	401	55,8	9,6	18.8

c) COHÉREUR A VIS N° 2

1re série d'observations : $s_0 = 465,8$ $w^G = 897^\Omega$

p	s_1	w_c
6,9v	442,2	16810Ω
10,2	383,0	4160
13,7	284,7	1410
17,3	192,1	630
20,7	140,2	386
24,0	102,9	254
27,8	82,8	194
31,1	46,1	98,5
34,4	34,2	71,1
40,5	15,0	2 ,8
48,4	19,5	39,2
55,1	15,5	38,9

2e série d'observations : $s_0 = 470,4$ $w^G = 897^\Omega$

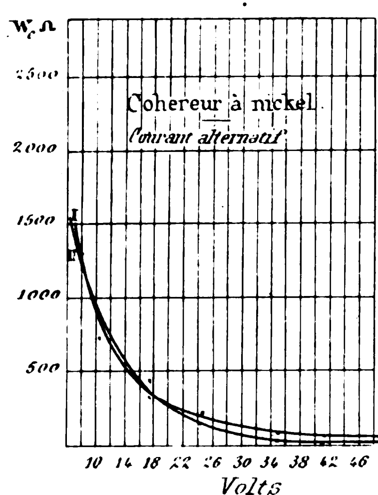
p	s_1	w_c
6,9v	463,0	56130Ω
10,4	440,3	13120
13,7	373,4	3453
17,3	339,2	2320
20,6	264,7	1154
23,6	171,8	516
27,2	126,9	331
30,7	60,7	133
34,0	42,5	89,1
40,7	20,4	40,6
48,2	22,0	44,0
54,6	17,8	35,3

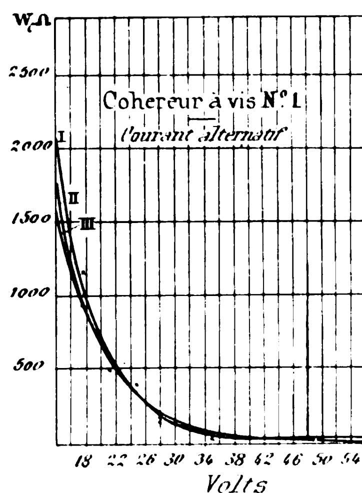
3e série d'observations : $s_0 = 470,4$ $w^G = 897^\Omega$

p	s_1	w_c
7,0v	451,5	21360Ω
10,5	377,9	3643
13,8	343,7	2425
17,2	256,3	1070
20,4	203,0	679
23,8	148,4	412
27,4	59,5	129
30,6	69,4	155
34,2	27,1	54,6
40,1	21,0	41,8
47,0	20,3	40,3
54,2	14,9	29,2

4e série d'observations : $s_0 = 472,3$ $w^G = 897^\Omega$

p	s_1	w_c
6,8v	466,1	67668Ω
10,3	385,3	3985
13,7	323,9	1964
17,0	320,3	1896
20,5	197,1	645
23,9	157,2	449
27,5	108,6	269
30,9	89,3	210
34,2	73,2	165
40,4	53,6	115
48,0	16,2	32,0
54,7	17,6	34,7





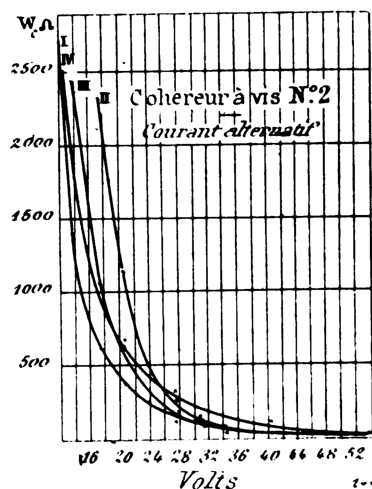


Fig. 4

COMPARAISON ENTRE LES RÉSULTATS AVEC COURANT CONTINU ET AVEC COURANT ALTERNATIF

Pour permettre la comparaison des deux modes d'excitations, nous avons tracé pour chaque cohéreur une courbe moyenne déduite des différentes courbes, en prenant, pour chaque valeur de la différence de potentiel portée en abscisses, la moyenne des différentes valeurs de la résistance portée en ordonnées. Nous avons obtenu ainsi, pour chaque cohéreur, une courbe moyenne *G* pour le courant continu et une courbe moyenne *W* pour le courant alternatif (fig. 5). On voit que, pour le cohéreur à nickel et pour le cohéreur à vis n° 1 la courbe à courant alternatif est au-dessous de la courbe à courant continu, c'est-à-dire que le

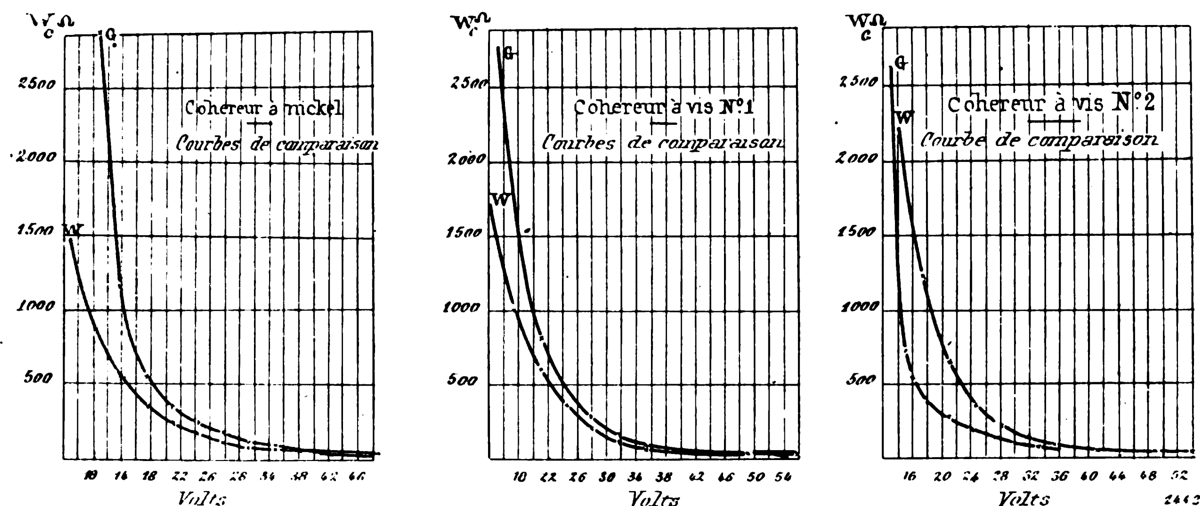


Fig. 5

courant alternatif produit une action plus forte que le courant continu. D'ailleurs l'hypothèse que, pour le courant alternatif, c'est l'amplitude de la tension et non la valeur efficace qui intervient, n'est pas vérifiée; en général l'écart n'est pas si grand.

Pour le cohéreur à vis n° 2, la courbe à courant alternatif est au-dessus de la courbe à courant continu. On peut en donner la raison suivante : pour le cohéreur à nickel et le cohéreur à vis n° 1, on avait employé alternativement le courant continu et le courant alternatif, tandis que pour le cohéreur à vis n° 2 on a opéré d'abord avec du courant continu, puis avec du courant alternatif. On peut donc attribuer la diminution d'effet au phénomène désigné sous le nom de « fatigue ».

(A suivre). A. Fisch.

LES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES DE LA VILLE DE NEUFCHATEL

La ville de Neufchâtel, en Suisse, a récemment inauguré son nouveau réseau de tramways électriques qui, par la perfection de son matériel et les difficultés qu'il a fallu vaincre pour établir les lignes, est l'un des plus intéressants de l'Europe.

La Société qui l'exploite est due à la fusion des deux anciennes Sociétés de tramways à vapeur et à chevaux.

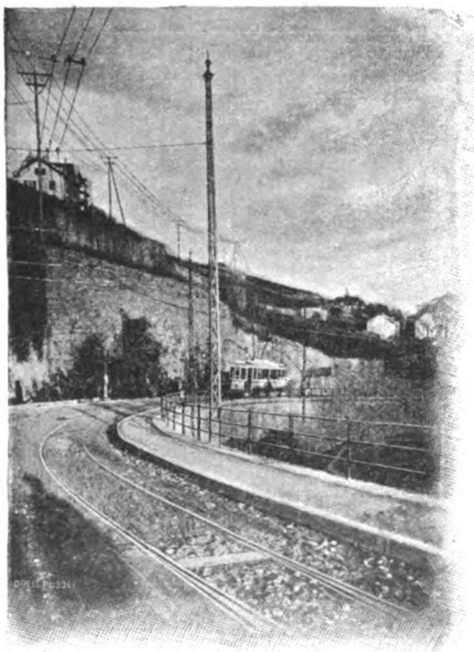
***

Le courant à la tension de 580 volts est fourni pour tout le réseau par la centrale à courant continu de la ville de Neufchâtel. Deux lignes peuvent toutefois être alimentées soit par cette centrale soit par l'usine hydro-électrique des Clées.

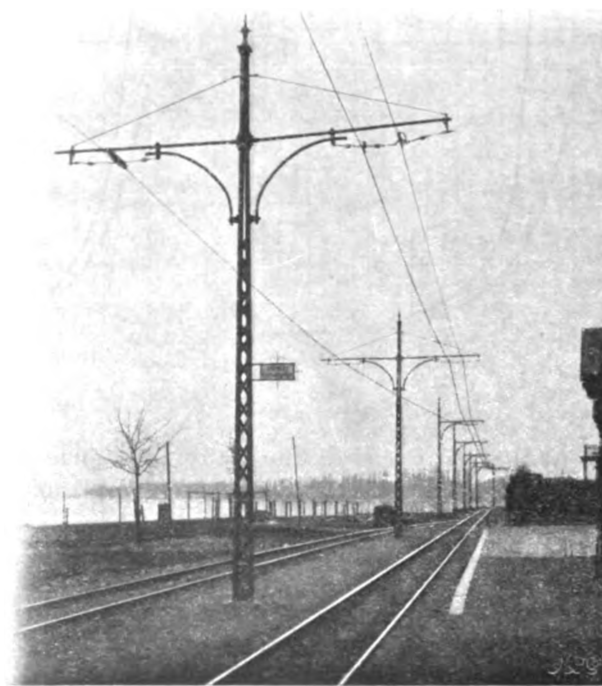
Le réseau se compose de cinq lignes d'une longueur totale de 26 km. 309.

Le plus petit rayon de courbure sur les lignes actuelles est 27,5 m. et dans le retour sur elle-même la cinquième ligne a un rayon de 20 m. Toutes les aiguilles ont un rayon de 50 m.

Les conditions dans lesquelles se trouvent les pentes sont plutôt défavorables. On rencontre, en effet, des pentes de 40 ‰ sur 10 m. de longueur, 86 ‰ sur 80 m. 45, 2 ‰ sur



Montée de l'Ecluse



Ligne du Lac

4 m, 65, 3 ‰ sur 120 m., 74,9 ‰ sur 140 m., 66,2 ‰ sur 100 m., 65 ‰ sur 600 m., 40 à 55 ‰ sur 2,500 m.

L'écartement est de 1 m. ; les lignes sont en rails Demerbe et en rails Vignole.

Dans les courbes d'un rayon inférieur à 100 m., l'écartement des rails est augmenté de 6 m., ceci parce que la gorge doit être de 3 m. plus large.

Pour l'écoulement de l'eau, les rails sont percés en certains endroits de trous sous lesquels se trouvent les récipients reliés entre eux par des caniveaux.

Les aiguilles sont à double lame et ressort ou munies de contrepoids. L'angle de l'aiguille est de 1 : 6.

La tension de la ligne est de 580 volts et la chute du potentiel maxima atteint 5 %.

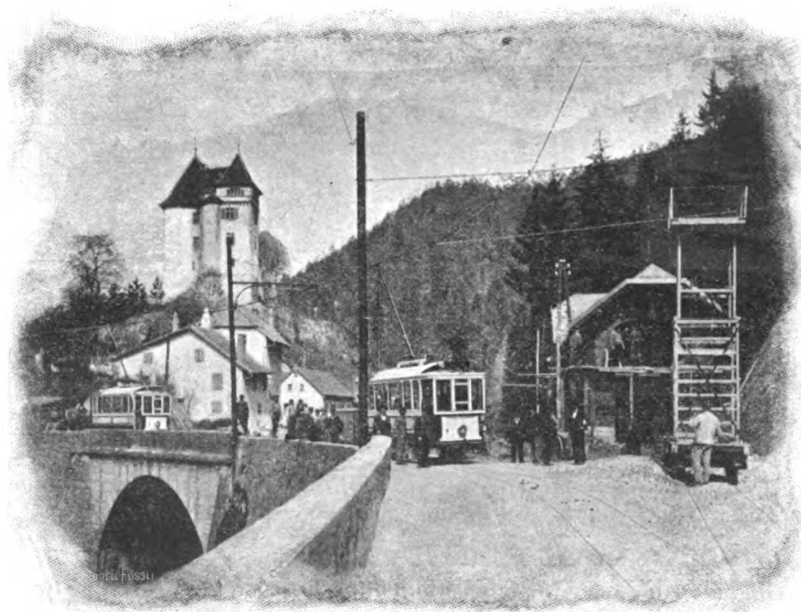
A l'exception d'une, toutes les lignes sont composées de fils de cuivre tendu de 9 mm. de diamètre.

Deux tronçons sont munis d'une double ligne de contact, ce qui n'est pas le cas pour les

autres tronçons qui ne comportent qu'un seul conducteur. La ligne de prise de courant est placée à une hauteur de 6 m. au-dessus du sol et est fixée à des fils raidisseurs isolés de 6 mm. de diamètre. Ces fils raidisseurs d'acier sont tendus entre des mâts ou des rosettes fixés aux murs où ils sont attachés à des potences. On a employé des mâts de bois, des mâts composés de viroles de fer ou bien de colonnes en treillis. Mâts ou colonnes sont l'un et l'autre implantés dans le sol dans une masse en béton de deux mètres de profondeur.

On a mis des mâts de bois seulement en dehors de la ville ; on en a placé en tout 450. Les consoles des mâts de bois sont formées de tuyaux à gaz de 48 mm. de diamètre.

Dans la ville on a placé 150 mâts formés de tuyaux Mannesman. Ce sont soit des mâts simples, soit des mâts munis de consoles. La longueur totale de ces mâts formés de tronçons placés bout à bout varie entre 9 m., 9 m. 5 et 10 m.



Valangin

Outre ces mâts à viroles, on a encore élevé 40 colonnes en treillis de 10 m. de longueur.

A leurs extrémités, les fils raidisseurs sont doublement isolés et les rosaces des murs sont munies d'amortisseurs ; la ligne Preseux-Valangin a été plus particulièrement assurée au moyen de parafoudres.

Sur l'un des tronçons on a adapté comme conducteur un fil de section octogonale de $100^{mm}2$.

Les deux conducteurs sont placés à 500^{mm} l'un de l'autre et munis d'une triple isolation par rapport à la terre. Dans les gares seules, les mâts de bois ont été remplacés par des mâts en treillis pourvus de consoles. On a placé en tout 60 de ces dernières.

Dans chaque station on a intercalé un interrupteur de section sur la ligne qui est de plus munie du parafoudre correspondant.

Pour les parties de ligne interurbaines le retour du courant se fait par les rails munis de joints électriques et par un conducteur spécial.

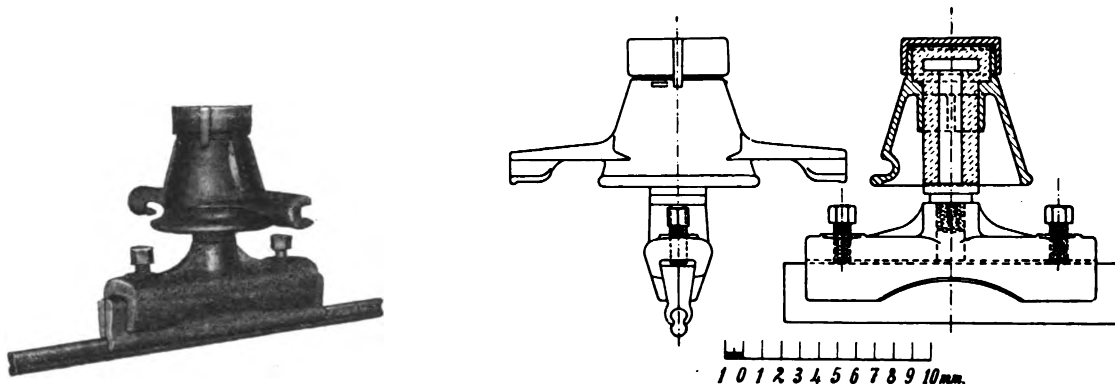
Ces joints comportent, rivés aux rails, deux conducteurs de cuivre de 50$^{mm^2}$.

Le conducteur de retour est souterrain ; il est formé d'un fil de cuivre nu de 8^{mm} de diamètre. Il court le long de la voie et est relié aux rails partout où se trouve un joint.

Sur l'un des tronçons, les joints électriques sont composés de fils de cuivre étamés de 50$^{mm^2}$ de diamètre ; à leurs deux extrémités, ils sont soudés à des plaques de cuivre. Ces dernières sont elles-mêmes soudées aux deux bouts des rails dans l'âme soit entre le patin et la tête de manière que, par éclisse, il y ait toujours 100$^{mm^2}$ de cuivre pour le courant de retour. Tous les 500 m. on a relié les deux fils de rails par un conducteur électrique de 8^{mm} de diamètre. Ce conducteur est rivé aux rails.

La distribution de ce tronçon est établie d'après le système à trois fils.

Deux des conducteurs sur trois sont aériens et le troisième est constitué par les rails, de



Isolateurs

sorte qu'entre les rails et chacun des fils aériens il y a une tension de 600 ou bien 580 volts et entre les 2 fils aériens une tension de 1.200 ou 1160 volts. On a adopté ce système dans le but de réduire le courant de retour afin de diminuer la section des feeders entre la voie et la station centrale et pour épargner un conducteur de retour spécial. De ce fait, il n'est ramené à la station centrale que la différence des courants absorbés sur les deux conducteurs.

Comme matériel roulant, on a prévu en service 30 voitures motrices et 10 voitures d'attelage. De plus, il existe trois voitures postales remorquées, différents wagons à ballast et un chasse-neige.

Dans un certain nombre de voitures motrices, la distance entre les essieux des roues est de 1.500^{mm}, tandis que dans les autres elle est de 1.800^{mm}. La longueur de ces véhicules est de 7 m. tampons compris. Il y a de la place sur ces véhicules pour 16 personnes assises à l'intérieur et 12 personnes debout : 6 à l'avant et 6 à l'arrière. Ces voitures sont munies d'un frein avec huit sabots et d'un châssis spécial pour le moteur, châssis suspendu aux boîtes de graissage. La caisse est portée au moyen de ressorts à spirales à section rectangulaire.

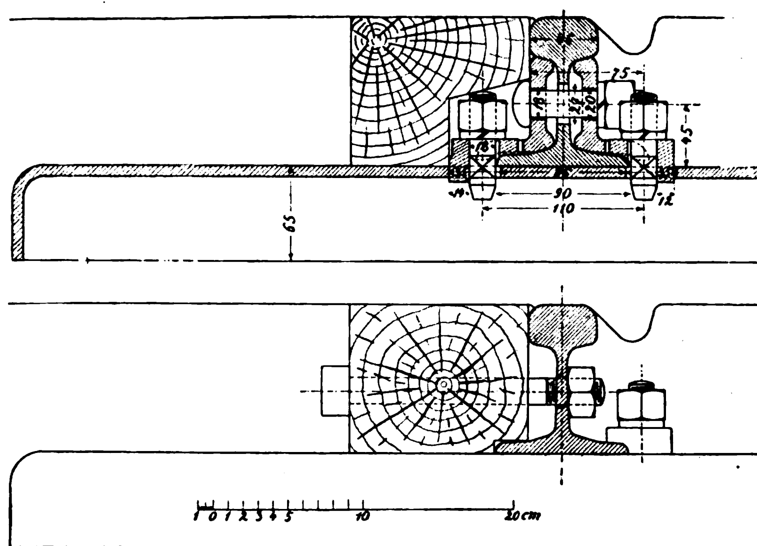
D'autres voitures motrices se distinguent par leur système de freinage. Sur chacune des 2 plates-formes de ces véhicules se trouve un levier qui commande des sabots de fonte munis de pointes. On a placé de chaque côté de la ligne, et en contact avec les deux files de rails, une rangée de longrines de bois. Les pointes des sabots s'enfonçant dans ces longrines déterminent un arrêt presque instantané de la voiture. Ce n'est que dans les cas de danger extrême qu'il doit être fait usage de ces freins.

D'autres voitures motrices ont une distance entre les essieux de 1.800^{mm} et une longueur

de 8,500^{mm}, tampon compris. Elles renferment 18 places assises et 16 places debout : 7 à l'avant et 9 à l'arrière. Elles sont également freinées par 8 sabots. La suspension de la voiture est double et comporte des ressorts à boudins et d'autres à pinces. Le truck du moteur est en acier profilé.

Toute la partie mécanique de ces voitures sort des Ateliers de la Compagnie d'industrie suisse de Neuhausen, tandis que celle du matériel roulant sur la ligne de Neufchatel-Cortaillod-Boudry provient de la Fabrique Suisse de wagons à Schlieren.

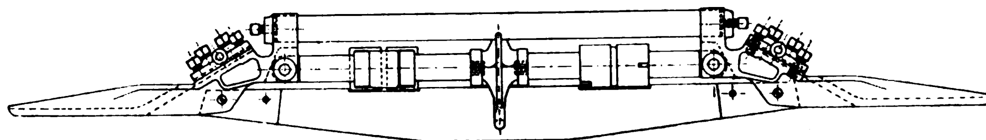
Enfin sept voitures motrices possèdent deux boggies à deux axes et des plates-formes



fermées. La distance entre les essieux des boggies est de 1,400^{mm} et la distance entre les boggies est de 6,500^{mm} mesurée d'axe en axe.

Les roues munies de bandages Van der Zypen ont un diamètre de 800^{mm}.

L'équipement d'une voiture comprend encore des freins électriques dont les 8 sabots agissent sur toutes les roues et de freins pneumatiques qui exercent leur action sur les voitures remorquées. On compte 28 places sur les sièges placés en longueur à l'intérieur des



caisses de ces voitures, 12 places debout à l'avant et 16 places debout à l'arrière. Les portes donnant accès à l'intérieur des compartiments sont très larges et à deux battants. On a prévu 4 sabliers sur chacune des voitures.

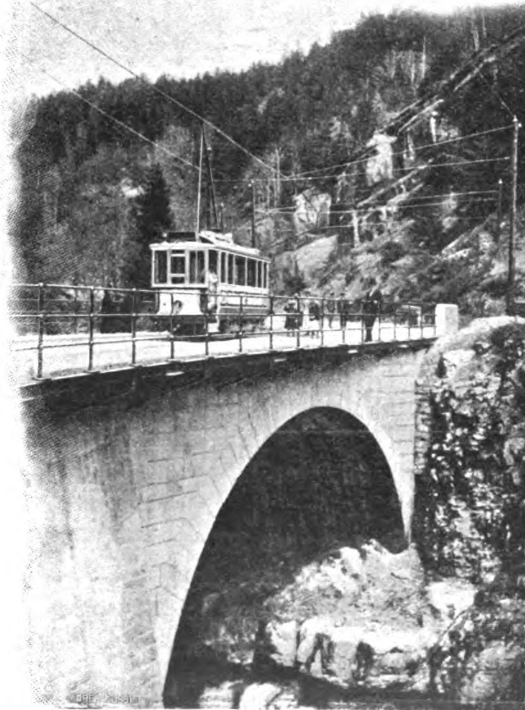
La longueur totale de ces voitures est de 12,54 m. et leur poids est de 15 tonnes.

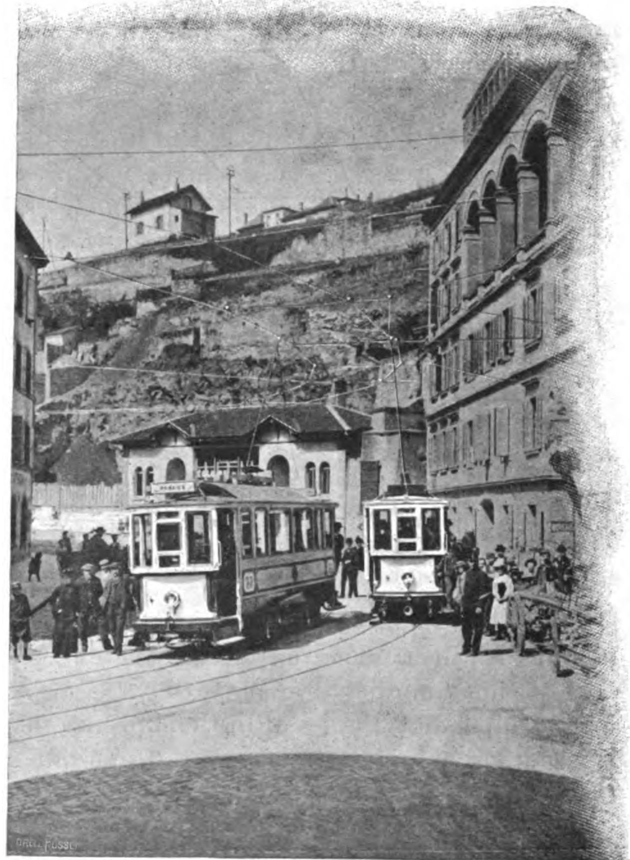
Les voitures de remorque qui sont en service sur le tronçon où circulent ces automotrices ont été disposées de façon à pouvoir être rapidement transformées en voitures motrices. Leur poids est de 12,8 tonnes; sept voitures sont équipées avec deux moteurs de 12 chevaux chacun et de 2 rhéostats de réglage. Ces moteurs sont entièrement clos et la transmission du mouvement a lieu par un engrenage dans le rapport de 1 : 5.

L'armature est percée de 59 encoches renfermant chacune 16 fils de 1,4/19^{mm} de diamètre. Les quatre inducteurs bobinés en série comprennent chacun 160 spires de fils de 3,1/3^{6mm} de diamètre.

Toutes les autres voitures, à l'exception de celles de 12,54 m. sont munies de deux moteurs d'une puissance normale de 18 chevaux pouvant développer une puissance maxima de 25 chevaux. Le rapport de transformation des engrenages est de 1 : 4,5.

L'armature de ces moteurs comprend aussi 29 encoches qui reçoivent chacune 12 spires de





Double voie à l'Écluse

fil de 2,7/2 8^{mm} de diamètre. Les enroulements excitateurs comptent 120 spires de 3,5/4^{mm} disposées en 8 couches.

Les rhéostats de réglage sont du système série-parallèle et munis des résistances additionnelles et des résistances de freinage nécessaires. Pour le démarrage et pour une petite vitesse, les moteurs sont reliés en série. Par contre, pour une vitesse élevée et pour un grand effort, on les relie en parallèle.

L'équipement électrique de ces voitures comprend deux interrupteurs automatiques, deux coupe-circuits, un parafoudre, un trolley, les appareils de chauffage placés sous les sièges et consommant chacun 600 watts et les lampes nécessaires à l'éclairage. Elles sont au nombre de six placées en série. Deux servent pour les signaux, deux éclairent les plates-formes et les deux autres l'intérieur.

Les deux moteurs des voitures à quatre essieux sont du type Œrlikon. A 635 tours par minute la puissance est de 40 chevaux mesurée à la périphérie des roues. Le jeu d'engrenage a un rapport de réduction de 1 : 4.

Ces moteurs ont une carcasse à charnières en fonte d'acier ; la partie inférieure peut s'ouvrir afin de pouvoir sortir l'induit sans pour cela défaire le moteur du truck.

Une ouverture avec couvercle est ménagée dans la partie supérieure de la carcasse pour permettre les révisions et un contrôle facile du collecteur. Une deuxième ouverture à la partie inférieure facilite un léger nettoyage.

Les paliers sont à bagues et les coquilles des paliers sont en métal blanc de première qualité. Elles sont largement calculées de manière que la pression du palier et le frottement soient réduits à un minimum.

La forme de la carcasse et son étanchéité sont telles que l'humidité, les poussières et l'huile des paliers ne pénètrent que le moins possible dans les enroulements.

Le fer de l'induit a un diamètre de 390^{mm} et une largeur de 150^{mm}. Chacune des 37 dents de $14,5 \times 27^{mm}$ contient 18 fils de $2,75/3^{mm}$. Les fils sont entourés par 3 couches de soie de Tussa et laqués. Les inducteurs ont un alésage de 396^{mm} et les quatre bobines reliées en série se composent chacune de 112 spires de fil de $5/5.4^{mm}$.

Le collecteur calculé dans de larges dimensions a une grande surface de refroidissement. La prise de courant se fait par des balais en charbon qui pressent le collecteur au moyen de forts ressorts. Celui-ci peut supporter une surcharge de 100 °/₀ sans crachement dangereux d'étincelles. A charge normale, il n'y a aucune étincelle.

L'isolation de toutes les parties du moteur a été essayée par du courant alternatif à 3000 volts.

Les deux contrôleurs du système série-parallèle de chaque voiture ont 7 touches de réglage et 5 touches de freinage. Ils sont en outre munis d'un souffleur magnétique d'étincelles.

Le reste de l'équipement électrique se compose de deux résistances, deux interrupteurs automatiques qui peuvent être manœuvrés à la main, deux coupe-circuits à soufflage d'étincelles, un parafoudre et deux appareils de contact à trolley.

L'éclairage électrique de chaque voiture est fait par deux circuits indépendants l'un de l'autre dont l'un a six et l'autre a sept lampes.

Le chauffage se fait par deux appareils consommant 2,000 watts.

Les vitesses sur les différents tronçons varient de 10 à 30 km. à l'heure.

Le personnel se compose d'un directeur, d'un géomètre, d'un inspecteur, d'un chef de dépôt, d'un caissier, d'un secrétaire, pour l'administration ; de 4 inspecteurs, 26 conducteurs, 26 contrôleurs, 24 hommes de réserve, 1 chef de voie, 1 sous-chef de voie, 1 chef pour l'entretien des lignes à trolleys, 8 surveillants pour l'exploitation, enfin de 20 ouvriers d'atelier.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Moteurs à collecteur pour courants alternatifs simples, par **Seijiro Sugiyama**. — (The Electrical World and Engineer, 29 octobre et 5 novembre 1904.)

Une nouvelle étude sur le moteur à collecteur si connu peut paraître fastidieuse actuellement où les périodiques sont remplis d'articles sur ce sujet. Toutefois, jusqu'ici, la méthode des imaginaires de MM. Steinmetz et Kennely n'avait pas encore été employée pour l'exposé simple et didactique des propriétés des moteurs à collecteur.

M. Seijiro Sugiyama vient de combler cette lacune et montrer comment la méthode des imaginaires permet de présenter très clairement la théorie des moteurs à collecteur avec alimentation par courants alternatifs simples.

Désignons par θ l'angle de décalage entre les axes des deux bobines A et B du stator et du rotor, axes que nous supposerons fixes dans l'espace; par $1 - S$ le glissement positif ou négatif, c'est-à-dire par S le rapport de la vitesse de la bobine A par rapport à la vitesse correspondant au synchronisme; par

$$\rho = g - b\sqrt{-1}$$

l'admittance d'excitation de la bobine A; et par

$$I = i\cos\alpha + i\sin\alpha\sqrt{-1}$$

le courant dans la bobine A ramenée à la bobine B.

Nous pouvons décomposer la f. m. m. alternative, que nous supposons sinusoïdale, produite par le stator B en deux f. m. m. constantes égales à la demi-amplitude maxima de la f. m. m. alternative et tournant en sens contraire avec une vitesse correspondant à celle du synchronisme. Les f. e. m. induites par les deux champs ainsi produits dans l'induit A seront :

$$-\frac{1-S}{2(g-b\sqrt{-1})}\left[i\cos(\alpha-\theta)+\sin(\alpha-\theta)\sqrt{-1}\right]$$

et

$$-\frac{1+S}{2(g-b\sqrt{-1})}\left[i\cos(\alpha+\theta)+i\sin\alpha\,(+\theta)\sqrt{-1}\right]$$

La f. e. m. totale est donc, en ajoutant les deux précédentes et simplifiant.

$$-\frac{\cos\theta}{(g-b\sqrt{-1})}\left[i\cos\alpha+i\sin\alpha\sqrt{-1}\right]$$
$$+\frac{S\sin\theta}{g-b\sqrt{-1}}\left[i\sin\alpha-i\cos\alpha\sqrt{-1}\right]$$
$$=-\frac{I\cos\theta}{\rho}-S\frac{I\sin\theta}{\rho}\sqrt{-1}.$$

La f. e. m. se compose donc de deux parties : l'une indépendante de la vitesse, la première, due par suite à la variation du courant, et l'autre variable avec la vitesse et due, par suite, à la rotation de l'induit dans le champ inducteur.

La puissance développée pendant la rotation est le produit de la f. e. m. due à la rotation par le courant, et le couple est défini par cette puissance divisée par la vitesse. La f. e. m. est de même fréquence que les courants d'alimentation, et la puissance et le couple de fréquence double.

Moteur série

Un moteur à courants alternatifs simples peut être représenté schématiquement par la figure 1.

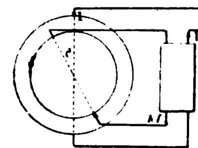


Fig. 1. — Schéma du moteur série ordinaire.

Soient : E la f. e. m. imprimée;

I le courant dans l'inducteur;

kI le courant dans l'induit ramené à l'inducteur;

$$\rho = g - b\sqrt{-1},$$

l'admittance d'excitation;

$$\rho_0 = g_0 - b_0\sqrt{-1},$$

l'admittance de l'inducteur;

$$\rho_1 = g_1 - b_1\sqrt{-1},$$

l'admittance de l'induit ramenée à l'inducteur.

L'équation fondamentale des f. e. m. est.

$$\frac{I-kI\cos\theta}{\rho}+\frac{I}{\rho_0}+k\left[kI-I\cos\theta-SI\sin\theta\sqrt{-1}+\frac{kI}{\rho_1}\right]=E,$$

La valeur du courant est donc

$$I=\frac{E\rho}{1-2k\cos\theta+k^2+C_0+k_1C_1-Sk\sin\theta\sqrt{-1}},$$

en posant

$$C_0=\frac{\rho}{\rho_0},\ C_1=\frac{\rho}{\rho_1}.$$

La puisssance est

$$p=S\frac{I\sin\theta}{\rho}kI\sqrt{-1},$$

et le couple

$$I=\frac{I\sin\theta}{\rho}kI\sqrt{-1}.$$

Moteur Shunt

Ce moteur peut être représenté schématiquement par la figure 2.

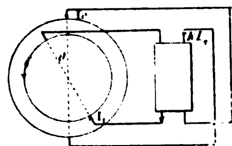


Fig. 2. — Schéma du moteur shunt ordinaire.

Soient : E la f. e. m. imprimée;
- kE la f. e. m. imprimée réduite à l'inducteur;
- I_0 le courant dans l'inducteur;
- I_1 le courant dans l'induit réduit à l'inducteur;
- et $I=I_0+kI_1$ le courant dans la ligne.

Les équations fondamentales sont ici

$$\frac{I_0-kI_1\cos\theta}{\rho}+\frac{I_0}{\rho_0}=E$$

$$\frac{I_1-I_0\cos\theta-SI_0\sin\theta\sqrt{-1}}{\rho}+\frac{I_1}{\rho_1}=kE$$

On en déduit

$$I_0=\frac{1+C_1+k\cos\theta}{(1+C_0)(1+C_1)-\cos^2\theta-S\sin\theta\cos\theta\sqrt{-1}}E\rho$$

$$I_1=\frac{k+kC_0+\cos\theta+S\sin\theta\sqrt{-1}}{(1+C_0)(1+C_1)-\cos^2\theta-S\sin\theta\cos\sqrt{-1}}E\rho$$

$$I=\frac{1+2k\cos\theta+C_1+k_2+k^2+C_0+Sk\sin\theta\sqrt{-1}}{(1+C_0)(1+C_1)-\cos^2\theta-S\sin\theta\cos\theta\sqrt{-1}}E\rho$$

d'où

$$P=S\frac{I_0\sin\theta}{\rho}I_1\sqrt{-1}$$

et

$$T=\times\frac{I_0\sin\theta}{\rho}I_1\sqrt{-1}$$

Moteur a répulsion

Le moteur à répulsion avec alimentation par courants alternatifs simples est un moteur Shunt sans f. e. m. d'alimentation dans le rotor et peut être représenté schématiquement par la figure 3.

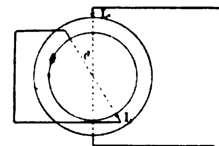


Fig. 3. — Schéma du moteur à répulsion ordinaire.

Il suffit pour avoir le courant de force $k=0$ dans les équations du cas précédent. Il vient alors :

$$I_0=\frac{1+C_1}{(1+C_0)(1+C_1)-\cos^2\theta-S\sin\theta\cos\theta\sqrt{-1}}E\rho$$

$$I_1=\frac{\cos\theta+S\sin\theta\sqrt{-1}}{(1+C_0)(1+C_1)-\cos^2\theta-S\sin\cos\theta\sqrt{-1}}E\rho$$

valeur qu'on portera dans les expressions de p et I.

Le moteur à répulsion peut toutefois être connecté avec le circuit d'extérieur, d'une façon différente de celle indiquée sur la figure 3. On obtient encore, en effet, un moteur à répulsion en considérant et en adjoignant sur le collecteur deux balais disposés sur une ligne perpendiculaire à celle des balais normaux et connectés à l'inducteur sur un diamètre perpendiculaire à celui des connexions ordinaires; c'est le cas de la figure 4.

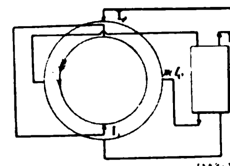


Fig. 4. — Schéma du moteur à répulsion avec montage spécial.

Si l'on désigne toujours par I_0 le courant dans l'inducteur fourni par la ligne par mI_0 le courant

****

auxiliaire dans l'inducteur, les équations fondamentales sont :

$$\frac{I_0 - I_1}{\rho} + \frac{I_0}{\rho_0} + m\left[\frac{mI_0}{\rho} + \frac{mI_0}{\rho_0}\right] = E$$

et :

$$\frac{I_1 - I_0 - S\,mI_0\sqrt{-1}}{\rho} + \frac{I_1}{\rho_1} = o$$

On en déduit

$$I_0 = \frac{1 + C_1}{(1 + C_0)(1 + C_1)(1 + m^2) - (1 + Sm\sqrt{-1})}\,E\rho$$

$$I_1 = \frac{1 + Sm\sqrt{-1}}{(1 + C_0)(1 + C_1)(1 + m^2) - (1 + Sm\sqrt{-1})}\,E\rho$$

ce qui permet de calculer P et T par les équations :

$$P = S\,\frac{mI_0}{\rho}\,I_1\sqrt{-1}, \qquad T = \frac{mI_0}{\rho}\,I_1\sqrt{-1}$$

On considérera plus particulièrement le cas où $m = \operatorname{tg}\theta$ qui montrera que les deux genres de moteurs de répulsion conduisent à des équations analogues.

Moteur Winter-Eichberg

Pour augmenter le facteur de puissance du moteur à répulsion, on peut employer un enroulement auxiliaire sur l'induit au lieu d'une bobine auxiliaire sur l'inducteur et employer deux séries de balais sur le collecteur comme le montre la figure 5.

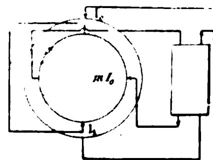


Fig. 5. — Schéma du moteur série à répulsion Winter-Eichberg.

Soient I_1 le courant principal dans l'induit ramené à l'inducteur, et mI_1 le courant auxiliaire également ramené à l'inducteur. Les équations fondamentales sont alors :

$$\frac{I_0 - I_1}{\rho} + \frac{I_0}{\rho_0} + m\left[\frac{mI_0 - S\sqrt{-1}\,(I_0 - I_1)\,\theta}{\rho} + \frac{mI_0}{\rho_0}\right] = E$$

$$\frac{I_1 - I_0 - SmI_0\sqrt{-1}}{\rho} + \frac{I_1}{\rho_1} = o\,.$$

On en déduit :

$$I_0 = \frac{1 + C_1}{(1 + m^2 + C_0 + C_1 m^2 - Sm\sqrt{-1})(1 + C_1) - (1 + S^2 m^2}\,E\rho$$

$$I_1 = \frac{1 + Sm\sqrt{-1}}{(1 + m^2 + C_0 + C_1 m^2 - Sm\sqrt{-1})(1 + C_1) - (1 - S^2 m^2)}\,E\rho$$

La puissance a ici pour expression,

$$P = \left(S\,\frac{mI_0}{\rho}\,I_1 - S\,\frac{I_0 - I_1}{\rho}\,mI_0\right) = \sqrt{-1}$$

et le couple

$$\theta T = \left(\frac{mI_0}{\rho}\,I_1 - \frac{I_0 - I_1}{\rho}\,mI_0\right)\sqrt{-1}$$

On voit par ces équations que le facteur de puissance du moteur Winter-Eichberg peut devenir égal à l'unité pour une vitesse supérieure à celle correspondant au synchronisme. Plus le rapport en sera grand, plus la vitesse correspondant à un facteur de puissance égal à l'unité sera voisine de celle du synchronisme.

Moteur série avec bobine en court-circuit

Le moteur série (ayons $k = 1$), le moteur shunt, le moteur à répulsion et le moteur Winter-Eichberg ont des caractéristiques semblables pour un même déplacement θ des axes des champs induit et inducteur et pour une même valeur de m.

En général, la meilleure valeur de θ, pour un rendement élevé, un facteur de puissance assez grand et une large couple au démarrage par kilovolt-ampères, est inférieur à 20°. Les moteurs série avec un décalage de 90° ont donc un fonctionnement peu satisfaisant.

Pour perfectionner ces moteurs, M. Eickemeyer a muni l'inducteur d'un second enroulement fermé en court-circuit et dont l'axe coïncide avec celui de l'enroulement induit.

Un pareil moteur peut être représenté schématiquement par la figure 6.

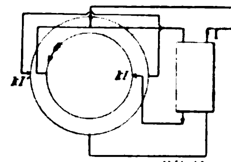


Fig. 6. — Schéma du moteur série compensé d'Eickemeyer.

Désignons par : kI' le courant dans le circuit fermé sur lui-même, supposé ramené au primaire.

ρ' l'admittance du circuit fermé sur lui-même, ramené au primaire.

Les équations fondamentales sont alors :

$$\frac{I}{\rho} + \frac{I}{\rho_0} + k\left[\frac{kI - kI' - SI\sqrt{-1}}{\rho} + \frac{kI}{\rho_1}\right] = E$$

$$\frac{I' - I}{\rho} + \frac{I'}{\rho'} = o$$

on en déduit en posant :

$$C' = \frac{\rho}{\rho'}$$

$$I = \frac{1 + C'}{(1+C')(1+k^2+C_0+k^2C_1-kS\sqrt{-1})-k^2}\,E\rho$$

$$I' = \frac{1}{(1+C')(1+k^2+C_0+k^2C_1-kS\sqrt{-1})-k^2}\,E\rho$$

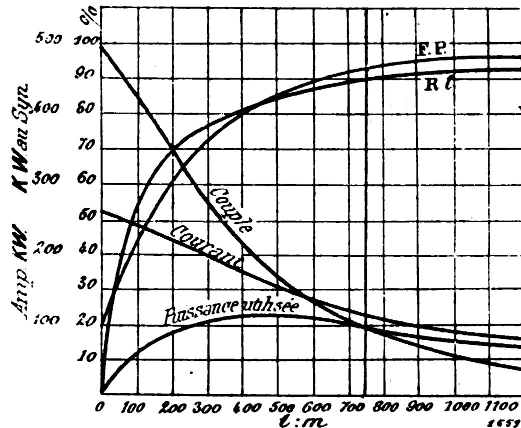


Fig. 7. — Caractéristiques d'un moteur série ordinaire.

Admittance d'excitation $= 0{,}0033 - 0{,}0345\sqrt{-1}$
Impédance du stator $= 0{,}285 + 0{,}970\sqrt{-1}$
Impédance du rotor $= 0{,}375 + 0{,}875\sqrt{-1}$
$k = 1$ $\theta = 15°$ E $= 1000$ wolts.

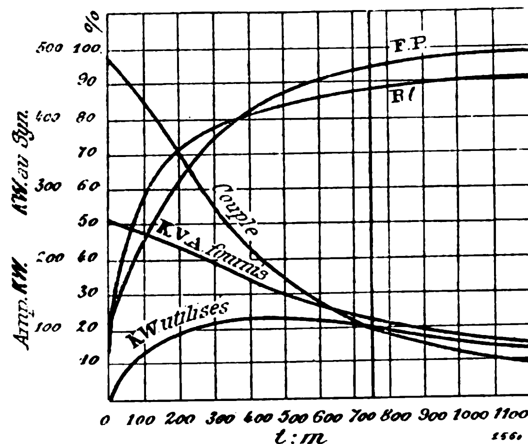


Fig. 8. — Caractéristiques d'un moteur shunt ordinaire.

Admittance d'excitation $= 0{,}0033 - 0{,}0345\sqrt{-1}$
Impédance du stator $= 0{,}285 + 0{,}970\sqrt{-1}$
Impédance du rotor $= 0{,}375 + 0{,}875\sqrt{-1}$
$k = 1$ $\theta = 15$ E $= 500$ volts.

La puissance est :

$$P = S\frac{I}{\rho}kI\sqrt{-1}$$

et le couple

$$I = \frac{I}{\rho}kI\sqrt{-1}$$

Pour montrer l'analogie avec les caractéristiques des moteurs que nous venons de passer en revue, M. Sugiyama donne, sur les figures 7, 8, 9 et 10 les caractéristiques calculées de moteurs à courants alternatifs simples pour tramways et

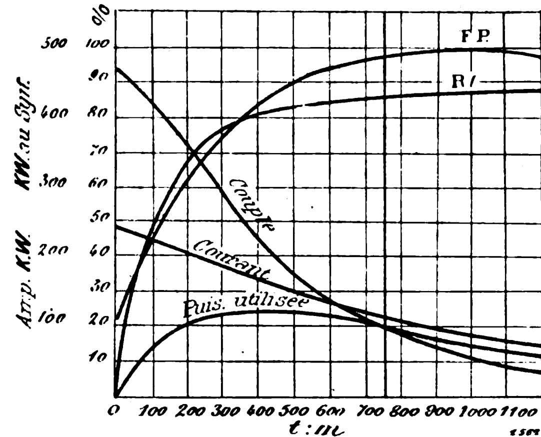


Fig. 9. — Caractéristiques d'un moteur ordinaire à répulsion.

Admittance d'excitation $= 0{,}0033 - 0{,}0345\sqrt{-1}$
Impédance du stator $= 0{,}285 + 0{,}970\sqrt{-1}$
Impédance du rotor $= 0{,}375 + 0{,}875\sqrt{-1}$
$m = 0{,}268$ E $= 1000$ volts.

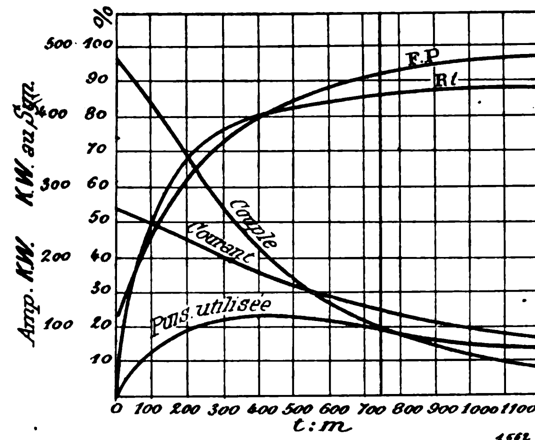


Fig. 10. — Caractéristiques d'un moteur Winter-Eichberg

Admittance d'excitation $= 0{,}0033 - 0{,}0345\sqrt{-1}$
Impédance du stator $= 0{,}285 - 0{,}970\sqrt{-1}$
Impédance du rotor $= 0{,}375 + 0{,}875\sqrt{-1}$
$\theta = 15°$ E $= 1000$ volts.

correspondant aux différents types indiqués. Ces moteurs sont à 4 pôles et à 25 périodes c'est-à-dire ont une vitesse correspondant au synchronisme de 750 tours par minute.

Dans une seconde partie de son étude, l'auteur revient sur le moteur à répulsion. Il pense que le moteur ordinaire à répulsion dans lequel l'in-

duit est mis en court-circuit par les balais, moteur qui permet d'éliminer l'emploi d'un transformateur même pour haute tension, présente aussi un grand avantage sur les autres moteurs à collecteur. Il y a donc lieu de supposer que ce moteur sera généralement adopté pour la traction.

Revenons à l'équation du courant dans un pareil moteur.

La composante wattée du courant est de la forme

$$\frac{E}{D}\left[A + B\sin^2\theta + CS\sin\theta\cos\theta\right]$$

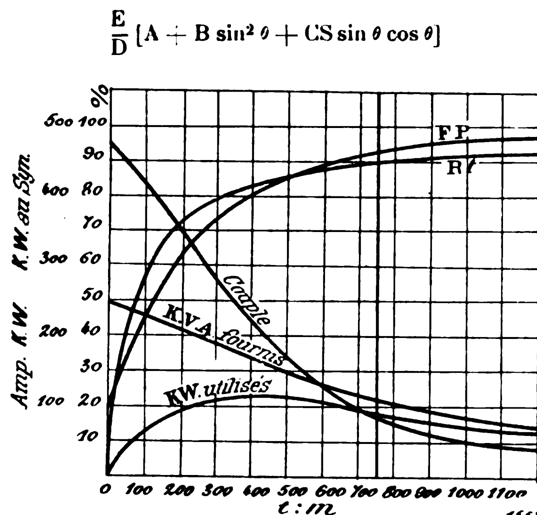


Fig. 11. — Caractéristiques d'un moteur Eickemeyer.

Admittance d'excitation	$= 0{,}0033 - 0{,}0345\sqrt{-1}$	
Impédance du stator	$= 0{,}285 + 0{,}970\sqrt{-1}$	
Impédance du rotor	$= 0{,}375 + 0{,}875\sqrt{-1}$	
Impédance du compensateur	$= 0{,}285 + 0{,}970\sqrt{-1}$	
$k = 3{,}73$	$E = 3730$ volts.	

et la composante déwattée

$$\frac{E}{D}\left[A' + B'\sin^2\theta + C'S\sin\theta\cos\theta\right],$$

Le dénominateur D pouvant lui-même se mettre sur la forme

$$D = AF + G\sin^2\theta + \sin^4\theta + KS\sin\theta\cos\theta + MS^2\sin^2\cos^2\theta.$$

Le courant dans l'induction a pour expression

$$I_0 = E\sqrt{\frac{(g^2+b^2)(g_0^2+b_0^2)\left[(g+g_1)^2+(b+b_1)^2\right]}{D}}$$

et celui dans l'induit

$$I_1 = E\sqrt{\frac{(g^2+b^2)(g_0^2+b_0^2)(g_1^2+b_1^2)(\cos^2\theta + S^2\sin^2\theta)}{D}}$$

Ces équations montrent qu'avec l'accroissement de vitesse, le courant dans l'inducteur diminue et tend vers 0, tandis que le courant dans l'induit tend vers une certaine valeur, le courant d'excitation étant produit de plus en plus par l'induit.

Il est intéressant de remarquer que le vecteur représentant le courant dans l'inducteur décrit un cercle passant par l'origine, on s'en aperçoit facilement en désignant par x et y les composantes du courant primaire et en éliminant le glissement S entre les deux équations obtenues, élimination qui conduit à l'équation d'un cercle.

Le couple est

$$T = E^2\frac{(g_0^2+b_0^2)}{D}\Big[\big\{b(g_1^2+b_1^2)+b_1(g^2+b^2)\big\}\sin\theta\cos\theta - \big\{g(g_1^2+b_1^2)+g_1(g^2+b^2)\big\}S\sin^2\theta\Big]$$

Ce couple pour une valeur donnée de θ est donc maximum au démarrage et décroît lorsque la vitesse augmente pour s'annuler par une certaine vitesse assez élevée. Le couple passe ensuite par un maximum négatif puis tend à nouveau vers zéro lorsque la vitesse augmente.

La vitesse par laquelle le couple s'annule, laquelle est la vitesse théorique maxima est donnée par :

$$S = \frac{b(g_1^2+b_1^2)+b_1(g^2+b^2)}{g(g_1^2+b_1^2)+g_1(g^2+b^2)}\,\mathrm{cotg}\,\theta$$

Le couple et le couple par kilovolt-ampère absorbé par le moteur pour une vitesse donnée, sont nuls pour $\theta = 0$. Si le décalage θ augmente, le couple et le couple par kilovolt-ampère absorbé augmentent très rapidement jusqu'à leurs maxima pour décroître lentement ensuite, lorsque le déplacement pour le couple maximum est plus petit que celui du maximum du couple par kilovolt-ampère absorbé.

Le couple par kilovolt-ampère est évidemment maximum au démarrage pour :

$$\sin^2\theta = \frac{\sqrt{\alpha(\alpha+\beta+\gamma)}-\alpha}{\beta+\gamma}$$

où

$$\alpha = (g^2+b^2)\left[(g+g_0+g_1)^2+(b+b_0+b_1)^2\right]$$
$$\beta = 2(gg_1+bb_1)\left[(g+g_0+g_1)g_0+(b+b_0+b_1)b_0\right] - 2(bg_1-gb_1)\left[g_0(b+b_0+b_1)-b_0(g+g_0+g_1)\right]$$
$$\gamma = (g_0^2+b_0^2)(g_1^2+b_1^2).$$

La variation du couple d'un moteur à répulsion peut être obtenue par variation de la *f. e. m.* imprimée ou par le décalage des balais. En général, le courant dans le moteur est moins

grand avec un réglage par décalage qu'avec un réglage par variation de la tension.

L'avantage du réglage par décalage est tempéré par le désavantage d'avoir des étincelles pour un grand décalage.

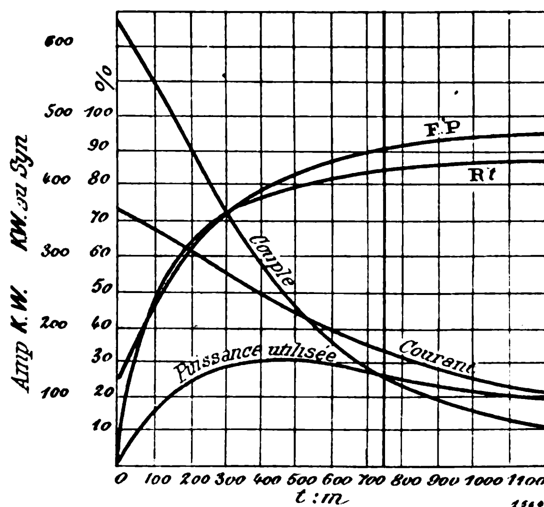


Fig. 12. — Caractéristiques d'un moteur à répulsion

Admittance d'excitation $= 0{,}0033 - 0{,}0345 \sqrt{-1}$

Admittance du stator $= 0{,}279 + 0{,}940 \sqrt{-1}$

Admittance du rotor $= 0{,}413 + 0{,}966 \sqrt{-1}$

$\theta = 10°$ E $= 1000$ volts.

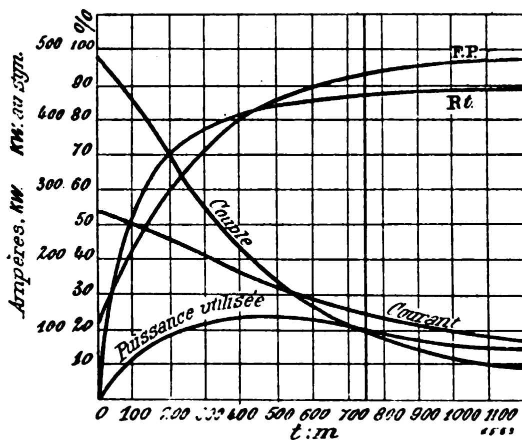


Fig. 13. — Caractéristiques du même moteur à répulsion que par la figure 12 mais avec $\theta = 15°$.

Pour montrer l'influence des décalages et de la vitesse, l'auteur a calculé les caractéristiques d'un moteur monophasé à répulsion à 4 pôles et 25 périodes. Ces caractéristiques sont représentées sur les figures 12 à 19.

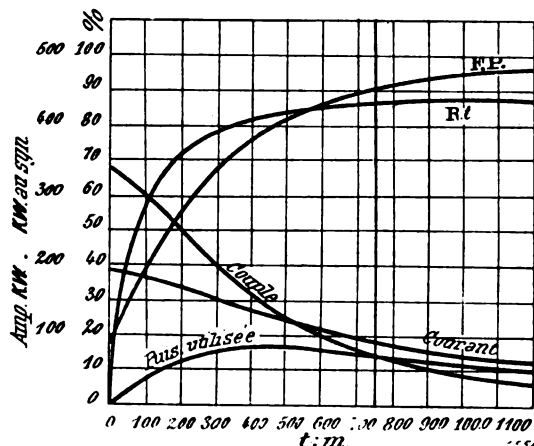


Fig. 14. — Caractéristiques du même moteur à répulsion que par la figure 12 mais avec $\theta = 20°$.

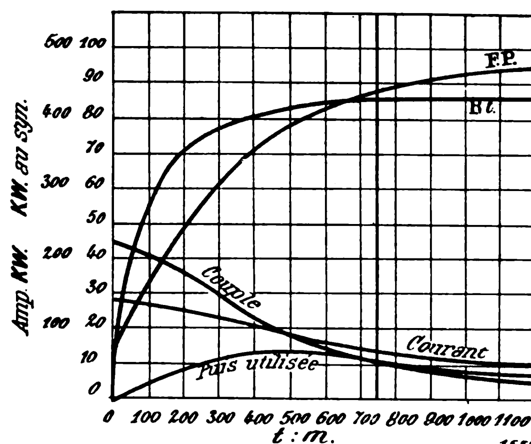


Fig. 15. — Caractéristiques du même moteur à répulsion que par la figure 12 mais avec $\theta = 25°$.

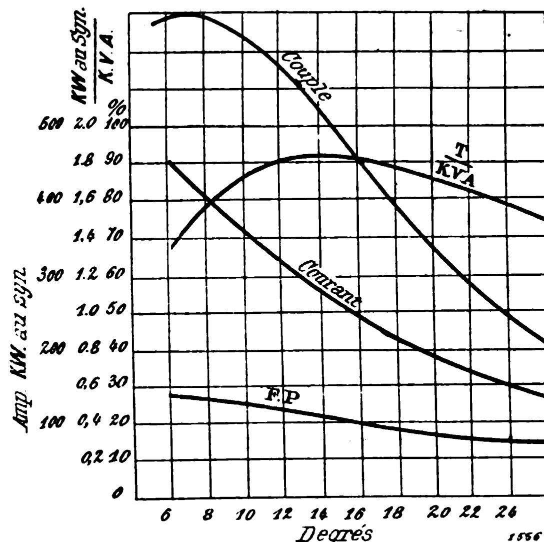


Fig. 16. — Caractéristiques d'un moteur à répulsion en fonction du décalage (mêmes constantes que celui des figures 12 à 15) pour S = 0 c'est-à-dire au démarrage.

*****

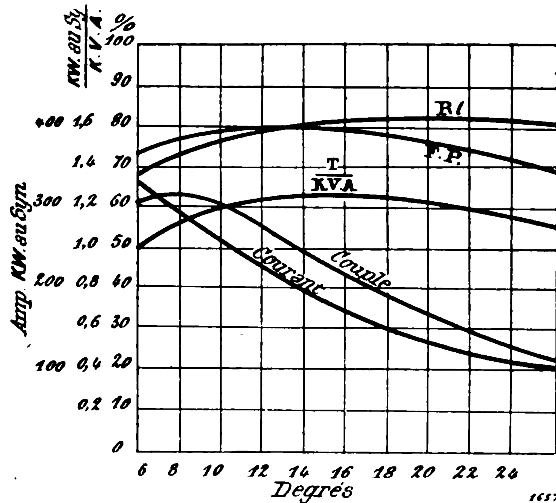


Fig. 17. — Caractéristiques du même moteur à répulsion en fonction du décalage pour S = 0,5.

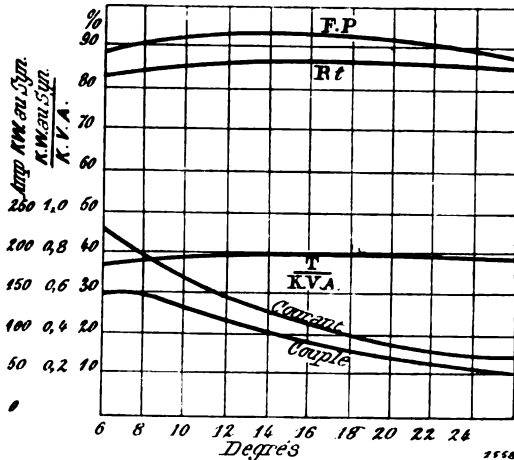


Fig. 18. — Caractéristiques du même moteur à répulsion en fonction du décalage pour S = 1.

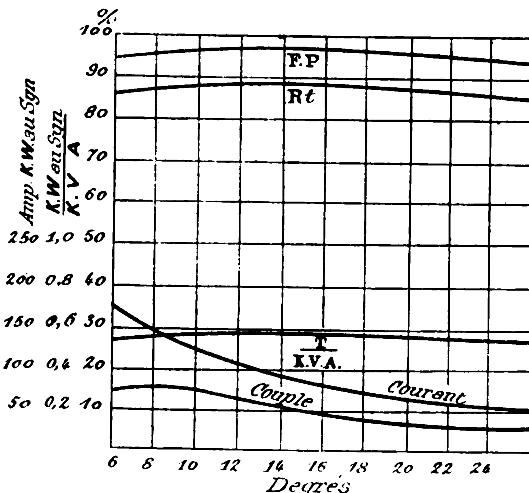


Fig. 19. — Caractéristiques du même moteur à répulsion en fonction du décalage pour S = 1,5.

Discussion.

Dans la théorie précédente, on a supposé que l'admittance d'excitation du stator et les admittances de l'induit et de l'inducteur sont constantes. En réalité, seules les deux premières peuvent être regardées pratiquement comme constantes ; l'admittance d'excitation varie car la conductance g dépend de la vitesse et la susceptance b de la saturation.

En ce qui concerne le facteur de puissance, l'influence de bobines mises en court-circuit par les balais, laquelle a été négligée, est très importante.

Dans un moteur à répulsion, désignons par I_2 le courant dans les bobines en court-circuit et ramené à l'inducteur.

ρ_2 l'admittance de la bobine en court-circuit est réduite également au primaire.

Nous aurons alors les équations fondamentales :

$$\frac{I_0 - I_1 \cos\theta + I_2 \sin\theta}{\rho} + \frac{I_0}{\rho_0} = E$$

$$\frac{I_1 - I_0 \cos\theta - SI_0 \sin\theta\sqrt{-1} - I_2 S\sqrt{-1}}{\rho} + \frac{I_1}{\rho_1} = 0$$

$$\frac{I_2 + I_0 \sin\theta + SI_0 \cos\theta\sqrt{-1} + I_1 S\sqrt{-1}}{\rho} + \frac{I_2}{\rho_1} = 0$$

desquelles on déduit :

$$I_0 = \frac{(1 + C_1)(1 + C_2) - S^2}{N} E\rho$$

$$I_1 = \frac{(1 + C_2)(\cos\theta + S\sin\theta\sqrt{-1}) - S^2\cos\theta - S\sin\theta\sqrt{-1}}{N} E\rho$$

$$I_2 = \frac{(1 + C_1)(\sin\theta - S\cos\theta\sqrt{-1}) - S^2\sin\theta - S\cos\theta\sqrt{-1}}{N} E\rho$$

en posant :

$$C_2 = \frac{\rho}{\rho_2}$$

et :

$$N = C_0 + C_1\cos^2\theta + C_2\sin^2\theta + C_0C_1 + C_0C_2 + C_1C_2 + C_0C_1C_2 - S^2C_0 + S(C_1 - C_2)\sin\theta\cos\theta\sqrt{-1}.$$

La puissance et le couple sont alors :

$$P = S\frac{I_0}{\rho}(I_1 \sin\theta + I_2 \cos\theta)$$

$$T = \frac{I_0}{\rho}(I_1 \sin\theta + I_2 \cos\theta)$$

on voit que le facteur de puissance est plus grand, à faible vitesse et plus petit à vitesse élevée, lorsque C_2 a une valeur finie que lorsque C_2 est infini.

Nous avons supposé que la distribution de

la *f.m.m.* le long de l'entrefer était sinusoïdale. En réalité, la distribution est plus voisine de la loi triangulaire. La loi triangulaire peut être décomposée en première approximation en une sinusoïde principale et un harmonique du troisième ordre.

Quoique l'effet de l'harmonique du troisième ordre soit en général insignifiant dans les moteurs à collecteur avec alimentation par courants alternatifs, il est d'une importance capitale dans le moteur d'induction à répulsion de Milch lequel a, au démarrage, un couple puissant comme les moteurs à répulsion ordinaire et fonctionne au régime normal à une vitesse voisine de celle du synchronisme comme les moteurs asynchrones à courants alternatifs simples.

Ce moteur est muni de deux séries de balais décalées de 90° l'une par rapport à l'autre, comme le montre la figure 20.

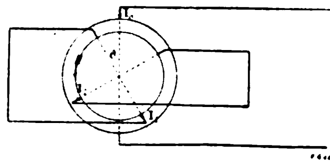


Fig. 20. — Schéma du moteur à répulsion de Milch.

Soient :

I_1 le premier courant dans l'induit ramené au primaire,

I_2 le second courant dans l'induit ramené au primaire,

ρ l'admittance d'excitation en négligeant l'effet de l'harmonique du troisième ordre.

p le rapport de l'amplitude de l'harmonique du troisième ordre à celle de la sinusoïdale principale.

Les équations fondamentales sont dans le cas actuel.

$$\frac{I_0 - I_1\cos\theta + I_2\sin\theta}{\rho} + \frac{p(I_0 - I_1\cos 3p\theta - I_1\sin 3\theta)}{\rho} + \frac{I_0}{\rho_0} = E$$

$$\frac{I_1 - I_0\cos\theta}{\rho} + \frac{p(I_1 - I_0\cos 3\theta}{\rho}$$

$$- S\frac{I_0\sin\theta - I_2}{\rho}\sqrt{-1} - S\frac{3p(I_0\sin 3\theta - I_2)}{\rho}\sqrt{-1} + \frac{I_0}{\rho_1} = 0$$

et :

$$\frac{I_2 - I_0\sin\theta}{\rho} + \frac{p(I_2 - I_0\sin 3\theta)}{\rho}$$

$$+ S\frac{I_1 - I_0\cos\theta}{\rho}\sqrt{-1} + S\frac{3(I_0\cos 3\theta - I_1)}{\rho}\sqrt{-1} + \frac{I_2}{\rho_1} = 0$$

Les équations résolues donnent pour le démarrage $(S = 0)$

$$I_0 = \frac{1 + p + C_1}{(1 + p)(C_0 + C_1) + C_0C_1 + 4p\sin^2 2\theta}E\rho$$

$$I_1 = \frac{\cos\theta + p\cos 3\theta}{(1 + p)(C_0 + C_1) + C_0C_1 + 4p\sin^2 2\theta}E\rho$$

$$I_2 = \frac{-\sin\theta + p\sin 3\theta}{(1 + p)(C_0 + C_1) + C_0C_1 + 4p\sin^2 2\theta}E\rho$$

Le couple T est au démarrage :

$$T = \frac{I_0}{\rho}[I_1(\sin\theta + 3p\sin 3\theta) + I_2(\cos\theta - 3p\cos\theta)]\sqrt{-1}$$

$$= \frac{I_0}{\rho}\,\frac{4p\sin 4\theta}{1 + p + C_0}I_0$$

Expression qui montre que le moteur, quoique du type asynchrone à courants alternatifs, a néanmoins un couple au démarrage dû à la présence de la troisième harmonique.

C.-F. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Les moteurs à courant alternatif comme consommation diurne des stations centrales, par **L. B. Hoit.** — Electrical Review, t. XLV, p. 382 et suivantes.

La distribution de l'énergie par courants alternatifs, en réduisant les frais de production du courant, ont permis aux stations centrales d'espérer de nouveaux débouchés dans la consommation de jour et de rivaliser avec les autres modes de production de force motrice. Mais alors que, avec le courant continu, la capacité des moteurs installés importait peu, il a fallu tenir compte, avec le courant alternatif, des pertes dans les transformateurs. Ces appareils introduisent un facteur de plus dans les dépenses d'exploitation et d'entretien.

Il est donc intéressant d'étudier le prix de revient du courant secondaire destiné à la

force motrice, et de rechercher le type de moteurs le plus avantageux pour l'exploitation.

L'auteur a construit des courbes renseignant sur les dépenses supplémentaires, qu'entraîne l'emploi des courants polyphasés, comparés aux mêmes dépenses dans une transmission et une distribution monophasée.

Une première série de courbes montre que les dépenses de premier établissement, du fait des transformateurs, augmentent de 25 p. 100 avec le courant biphasé, et de 50 p. 100 environ avec le courant triphasé, quand on substitue des moteurs biphasé et triphasé, respectivement, à un moteur monophasé.

Une deuxième série de courbes indique l'accroissement correspondant des pertes dans la transmission. Outre les pertes résultant de l'emploi de deux transformateurs avec les moteurs polyphasés, il est nécessaire d'augmenter les dimensions des transformateurs pour tenir compte des surcharges, les transformateurs donnent alors une surcharge de 15 p. 100 avec des pertes supplémentaires de 30 p. 100 environ dans le cuivre.

On comprend l'importance qu'acquièrent ces dépenses supplémentaires dans une exploitation cherchant à développer sa consommation diurne. En pratique, la plupart des stations polyphasées installent des moteurs monophasés jusqu'à 40 chevaux au moins, en raison de la plus grande simplicité de la transmission et de l'appareillage.

Le tableau suivant est très suggestif à ce point de vue.

D'autres courbes citées par l'auteur montrent les résultats d'essais de démarrage sur des moteurs monophasés, en vue de déterminer l'efficacité des appareils de démarrage non inductifs ; on y voit, que le moteur est amené à pleine charge et pleine vitesse, sans dépasser le courant normal. Le courant de démarrage est d'ailleurs beaucoup plus facile à régler, avec des moteurs monophasés, qu'avec des moteurs polyphasés.

Le succès de la distribution de force motrice par l'électricité dépend encore de facteurs assez complexes. Mais il semble que les stations centrales commencent à entrevoir l'issue de la situation actuelle, grâce à l'adoption de tarifs multiples, et des indicateurs de demande maxima. A Chicago, un moteur de 5 chevaux marchant à pleine charge, quatre heures par jour, paie le kilowatt-heure 0 fr. 38 ; s'il marche dix heures par jour, il ne paie plus que 0 fr. 23.

TABLEAU

COMPAGNIES	SYSTÈME DE DISTRIBUTION	MOTEURS
Chicago Edison Co	Triphase 4 fils	Monophase jusqu'à 5 chevaux incl.
Columbeus Edison C°	Biphase	Toutes puissances
United Electric C°	Biphase	Toutes puissances
Cleveland Electric illuminating C°	Triphase	Monophase jusqu'à 3 chevaux
Brooklyn Edison C°	Triphase	Jusqu'à 5 chevaux monophase
Missouri Edison Electric C°	Monocyclique, distribution monophasée	Moteurs uniquement monophasés
Washetenaw Electric Light and Power C°	Génératr. triph. distrb. monoph.	Toutes puissances

Un point essentiel est d'avoir une chute de tension faible dans les transformateurs ; la capacité des moteurs alternatifs diminuant très rapidement avec la tension.

P.-L. G.

Recherches sur les diélectriques solides. — Note de MM. **V. Crémieu** et **L. Malcles**, présentée par M. H. Poincaré.

Au cours de ses recherches sur la convection électrique, Crémieu a observé des anomalies de l'influence électrique au travers des diélectriques solides.

Les expériences contradictoires de Pender et Crémieu ont montré que c'étaient ces anomalies qui expliquaient les résultats négatifs de Crémieu.

Nous avons entrepris l'étude systématique de ces phénomènes, d'abord qualitativement, puis par des méthodes susceptibles de rendre des mesures possibles.

Étude qualitative. — La tige conductrice T, communiquant à l'armature interne d'une bouteille de Leyde L, dont l'armature externe est au

sol, porte un plateau métallique A, poli et arrondi sur ses bords.

On étudiera les effets d'influence de ce plateau chargé à l'aide d'un plan d'épreuve C et d'un électroscope. Pour cela, on place C dans une position bien définie au-dessus de A, on le met au sol, puis on l'isole et on le porte à l'électroscope. Ou bien on le plonge dans un cylindre de Faraday, relié à l'électroscope.

Le diélectrique à étudier, sous forme de disques de 4^{mm} à 5^{mm} d'épaisseur, tels que D, sera posé sur A.

Il est de toute nécessité de n'opérer que sur des échantillons rigoureusement neutres, au point de vue électrique, au début des expériences. On sait que pour posséder cette neutralité, il faut que les disques satisfassent aux trois épreuves suivantes :

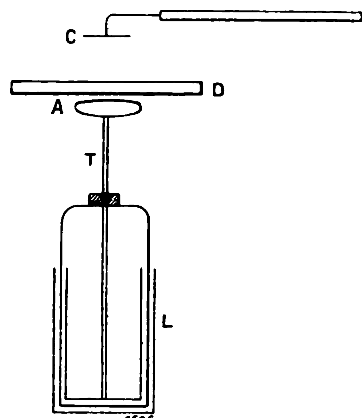


Fig. 1

1° Accuser une charge totale nulle dans le cylindre de Faraday;

2° Ne communiquer, par contact direct, aucune charge au plan d'épreuve (charge libre nulle);

3° N'induire par influence aucune charge sur le plan d'épreuve (charge vraie nulle).

Ces deux dernières épreuves doivent être répétées sur plusieurs points de la lame et sur ses deux faces.

Ceci posé, mesurons l'effet d'influence à travers l'air seul, d'une charge, positive par exemple, de la bouteille. Plaçons ensuite D sur A. L'effet d'influence en C., mesuré immédiatement, sera légèrement supérieur au précédent, ce qui est normal.

Mais si nous comparons, au bout de quelques minutes de contact de A avec D, les effets à travers l'air et à travers le diélectrique, nous trouverons ces derniers notablement inférieurs aux premiers.

En outre la lame D, plongée dans le cylindre de Faraday, accuse une charge notable *de signe contraire à celle de A*.

D'ailleurs notre lame, extraite du cylindre et explorée au plan d'épreuve, montre une charge vraie et pas de charge libre.

Il est bien évident que ce sont les effets d'influence de cette charge vraie qui viennent, en C, se retrancher des effets en sens inverse de la charge de A.

Le phénomène est indépendant du signe de la charge de A et de la nature du diélectrique. Toutefois, avec les corps dont la surface présente une faible conductibilité, comme le verre et le mica, on trouve souvent de petites charges libres, de même signe que celle de A et leur présence trouble les phénomènes, sans cependant les masquer entièrement.

Pour faciliter le langage, nous appellerons *charge réactive* la charge vraie prise par le diélectrique, dans les conditions que nous venons de décrire.

La grandeur de la charge réactive dépend de la durée du contact des lames avec A : elle augmente avec cette durée, au moins dans certaines limites.

Les phénomènes ne changent pas si D, au lieu de reposer sur A, en est séparé par une couche d'air, mais, pour une même charge réactive, la durée d'exposition nécessaire augmente.

Au contraire, on peut réduire cette durée à quelques secondes. Il suffit, après avoir placé D sur A, de surmonter D d'un plateau métallique qu'on reliera au sol pendant quelques instants. Au bout de moins de 1 min., D aura pris une charge réactive notable. Mais les charges libres, à la surface de D, seront plus considérables ; du reste, elles se dissipent assez rapidement, et seule la charge réactive persiste.

On peut aussi faire l'expérience en plaçant sur A trois lames D superposées. La charge réactive apparaîtra avec la même netteté dans les trois lames. De plus, pour la lame centrale, aucune charge libre ne troublera le phénomène. Sous cette dernière forme, l'expérience est particulièrement nette et réussit toujours.

Nous indiquerons, dans une prochaine Note, nos essais d'étude quantitative de ces phénomènes.

Sur la conductibilité des gaz isssus d'une flamme. — Note de MM. **Paul Langevin** et **Eugène Bloch,** présentée par M. Mascard.

On sait (1) le grand intérêt qu'il y a à introduire dans l'étude des gaz ionisés le rapport $\varepsilon = \frac{\alpha}{4\pi(k_1 + k_2)}$ du coefficient de recombinaison des ions au produit par 4π de la somme des mobilités des ions des deux signes. Ce rapport possède en effet une signification théorique simple, puisqu'il représente le rapport du nombre des recombinaisons au nombre des collisions entre ions de signes contraires. Sa valeur numérique devra, par suite, dans un milieu privé de poussières être inférieure à l'unité. Sa détermination expérimentale dans l'air ionisé par les rayons de Röntgen a conduit à des valeurs qui sont, dans les conditions ordinaires, voisines de 1/4 et dont les variations avec la pression sont conformes à ce que la théorie permet de prévoir.

Une modification de la même méthode expérimentale (1) permet aussi de mesurer le rapport ε dans le cas des ions produits par le phosphore. Vu la très faible mobilité de ces ions, la valeur théorique serait ici voisine de l'unité. L'expérience a conduit à des valeurs plus grandes, ce que l'on peut expliquer par la présence de nombreuses poussières dans le gaz et aussi par les difficultés et les imperfections de l'expérience.

Nous nous sommes proposé de mesurer le rapport ε pour les gaz issus d'une flamme : ces gaz contiennent aussi des ions très peu mobiles et l'application de la méthode de courant gazeux qui a servi pour le phosphore est ici plus

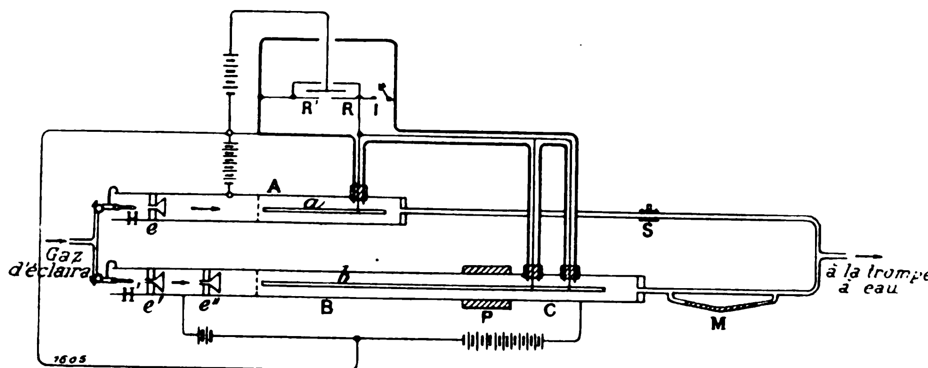


Fig. 2

aisée, surtout si l'on prend les précautions et si l'on réalise les perfectionnements qui ressortent de la description suivante :

Un tube de 6^{cm} de diamètre se compose de deux parties B et C isolées l'une de l'autre en P ; il porte une électrode isolée *b* de 1^{cm} de diamètre et 150^{cm} de long, immédiatement précédée d'une toile métallique limitant son champ.

Une trompe à eau permet d'aspirer, à travers BC et le tube de compensation A, un courant d'air qui se charge d'ions sur les deux petites flammes bleues H et H', d'environ 1^{mm}, alimentées par la même prise de gaz. Elles jaillissent au bout de deux petits tubes métalliques qu'on a reliés respectivement aux tubes A et B afin de supprimer tout champ électrique dans la région où se produisent les flammes.

Les entonnoirs *e*, *e' e''* assurent la répartition uniforme des gaz ionisés dans la section des tubes A et BC. Grâce à la petitesse des flammes, les tubes restent complètement froids au niveau des électrodes ; on opère donc sur les gaz de la flamme *entièrement refroidis*.

Supposons que le gaz traverse un condensateur cylindrique chargé B*b*. Q_0 représente la quantité maximum d'électricité qu'un champ très intense peut extraire du gaz sur la longueur de B. Si l'on emploie un cham moins

(1) P. Langevin, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, 1902, p. 414, 533 ; t. CXXXVII, 1903, p. 177 ; *Ann. de Chimie et de Phys.*, t. XXVII, 1903.

(1) E. Bloch, *Comptes rendus*, t. CXXXVII, 1903, p. 1040 ; *Thèse de Doctorat*, Paris, 1904.

intense, produit par une charge σ sur la même longueur et capable de séparer complètement les ions de signes contraires dans B, la recombinaison joue pendant cette séparation un rôle appréciable et l'on recueille seulement $Q < Q_0$. Le tube C est le siège d'un champ très intense de même sens que le premier, qui permet à tous les ions d'être recueillis par *b*.

Au lieu de mesurer séparément les deux quantités Q_0 et Q, il est préférable de mesurer l'une d'elles, Q_0 et la différence $Q_0 - Q$ qui représente l'effet de la recombinaison. Pour cette dernière mesure, on se sert du tube de compensation A : un champ intense de sens contraire au premier amène sur l'électrode *a* des charges qu'on peut rendre égales à $- Q_0$ en agissant sur la pince de serrage S.

1° L'état permanent étant établi, les tubes A et BC sont chargés à des potentiels élevés et de signes contraires + et — 400 volts, suffisants pour réaliser la saturation. On règle la pince S de manière que l'électromètre reste au zéro ; *a* et *b* recueillent alors par seconde des charges proportionnelles à Q_0V, $- Q_0V$ en appelant V la vitesse linéaire du gaz.

2° On renverse le sens du champ sur BC. L'électromètre dévie rapidement avec une vitesse proportionnelle à $2Q_0V$.

3° Sans toucher à A, on charge B à — 100 volts seulement et C à — 800 volts. L'électromètre dévie lentement avec une vitesse proportionnelle à $(Q_0-Q)V$.

4° On mesure σ en arrêtant le courant gazeux, isolant l'électromètre et portant le tube BC à un potentiel connu de 2 à 4 volts. La déviation est proportionnelle à σ.

5° Enfin la vitesse linéaire V du gaz se déduit de la section du tube BC et du débit d'environ 60^{cm^3} par seconde, mesuré au moyen d'un manomètre étalonné M du type Töpler (1).

Les meilleures mesures effectuées ont donné, pour le rapport ε, des valeurs voisines de 0,07 : elles sont inférieures à l'unité, comme la théorie l'exige et beaucoup plus voisines de l'unité que dans le cas des rayons de Röntgen, comme pouvaient le faire prévoir les faibles mobilités des ions actuels.

(1) E. Bloch, *Comptes rendus*, t. CXXXVIII, 1904, p. 1492.

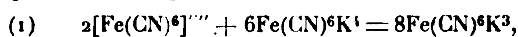
Influence de la nature de l'anode sur l'oxydation électrolytique du ferrocyanure de potassium. — Note de MM. **André Brochet** et **Joseph Petit**, présentée par M. H. Moissan (novembre 1904).

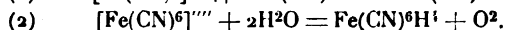
« L'influence de la nature des électrodes est de la plus haute importance, principalement en ce qui concerne les réactions organiques, oxydations ou réductions.

» L'oxydation du ferrocyanure de potassium a été l'objet de nombreuses recherches de Schlagdenhauffen, Schönbein, Daniell et Miller, Smée, Hittorf, Hayek, etc.

» Nous avons repris cette étude en cherchant les conditions pratiques de la fabrication du ferrocyanure et avons été amenés à employer diverses substances comme anode.

» Lorsque l'on électrolyse avec diaphragme une solution de ferrocyanure de potassium, il y a formation au pôle positif de ferrocyanure et d'acide ferrocyanhydrique par suite de la réaction de l'anion $[Fe(CN)^6]''''$ soit sur le ferrocyanure, soit sur l'eau, cette deuxième réaction donnant lieu à un dégagement d'oxygène, perdu pour l'oxydation


(1) $2[Fe(CN)^6]'''' + 6Fe(CN)^6K^4 = 8Fe(CN)^6K^3,$


(2) $[Fe(CN)^6]'''' + 2H^2O = Fe(CN)^6H^4 + O^2.$

» La réaction (2) devient de plus en plus importante au fur et à mesure que la solution s'appauvrit en ferrocyanure ; en même temps il y a formation d'acide ferrocyanhydrique par un processus analogue.

» Si l'anode est un métal attaquable par l'ion $[Fe(CN)^6]''''$, le ferrocyanure correspondant prend naissance, mais assez souvent ce produit insoluble reste adhérent à l'électrode et l'opération se poursuit en même temps qu'il se forme du ferrocyanure de potassium avec un rendement très variable suivant la nature du métal. Lorsque la couche de ferrocyanure est importante, la tension aux bornes est de ce fait beaucoup plus élevée.

» Nos expériences ont été faites dans un vase de nickel servant de cathode qui était refroidi extérieurement. Dans le vase poreux se trouvait une anode rotative de 1^{dm^2} de surface utile. L'intensité du courant était de 5 ampères et les essais duraient généralement une heure. Les conditions de concentration, de volume de liquide, de température, etc., étaient les mêmes.

» A la fin de chaque opération, le rende-

ment était établi de la façon suivante : Le volume anodique est mesuré et, sur un échantillon, le ferrocyanure inaltéré est titré (permanganate en milieu acide). Sur un autre échantillon, le ferrocyanure est réduit et le ferrocyanure titré comme précédemment. La différence entre les deux dosages correspond au sel oxydé par électrolyse. Pour la réduction du ferrocyanure, nous avons eu recours à l'action de l'eau oxygénée en milieu alcalin :

$$2Fe(CN)^6K^3 + 2KOH + H^2O^2 = 2Fe(CN)^6K^4 + 2H^2O + O^2.$$

» L'effet est instantané et une courte ébullition détruit l'excès d'eau oxygénée. Le rendement est le rapport du ferrocyanure obtenu au ferrocyanure qui se serait formé théoriquement (d'après un voltamètre à cuivre).

Influence de la nature de l'anode dans l'oxydation du ferrocyanure (1).

	Substance de l'anode.	Durée de l'essai.	Rendements	Tension finale
		min	pour 100	volts
I.	Platine poli	30	74,9	4,9
	Platine poli	60	63,7	4,9
	Platine platiné	60	45,4	5,0
	Graphite Acheson	60	33,2	5,0
	Électro-graphitique. Ste « Le Carbone »	60	27,5	5,3
	Électrode ordinaire	60	6,9	5,4
II.	Fer	60	50,0	4,7
	Cobalt	60	41,3	5,0
	Nickel	60	37,3	5,3
III.	Plomb + PbO^2	60	39,5	4,5
	Plomb	60	6.2	9,1
	Plomb antimonié	60	»	5,7
	Étain	60	8,8	8,5
IV.	Cuivre	30	75,2	30
	Cuivre amalgamé	30	»	41
	Zinc	30	27,2	36
	Zinc amalgamé	30	»	41
	Cadmium	Le cour^t ne passe pas		48
	Mercure	Id.	Id.	48
V.	Magnésiun	Se dissout, formation d'hydrate		»
	Aluminium	Dissol. plus grande que la théorie		15
	Argent	Dissol. théorique Précipitat^n de ferrocyanure d'argent		6

» Les résultats réunis dans le tableau ci-contre permettent de classer les métaux en cinq groupes. Le premier renferme les substances ne donnant pas de ferrocyanure ; il y a lieu de remarquer la différence des rendements obtenus avec le platine poli et le platine platiné et avec les différentes variétés de charbon. Le second groupe renferme les métaux peu attaquables et donnant un assez bon rendement. Le troisième groupe, les métaux peu attaquables donnant un rendement insignifiant. Avec le quatrième groupe l'attaque est nette, mais il y a oxydation. Avec le cinquième groupe au contraire, le métal se comporte comme anode soluble.

» De ces expériences il résulte que les métaux ont une action très variable lorsqu'on les utilise comme anode dans l'électrolyse du ferrocyanure de potassium. Nous poursuivons cette étude en milieu alcalin et dans certaines conditions spéciales qui nous ont fourni jusqu'à présent des résultats un peu différents. »

(1) Dans les conditions de nos essais, l'oxydation du liquide anodique demandait une heure pour un rendement théorique.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

(*Novembre 1904*)

Influence de l'hystérésis sur le couplage des alternateurs en parallèle par **M. Boucherot.**

M. Boucherot émet l'opinion que les efforts électrodynamiques résultent de l'action du courant induit, non pas sur le champ magnétique de l'induit, mais sur le champ magnétique des inducteurs ; ce n'est pas sur le fer induit, mais sur le fer inducteur, que les courants induits exercent leur action. En sorte que, à son avis, la puissance n'est pas exactement le produit de la force électromotrice par le courant, mais le produit de ce que serait la force électromotrice sans retard hystérétique par le courant tel qu'il est.

« Soient alors les vitesses des deux alternateurs couplés en régime oscillatoire :

$$\Omega_m (1 \pm \varepsilon \sin \alpha t),$$

le signe + se rapportant à l'un des alternateurs, le signe — à l'autre. Comme l'écart angulaire est à chaque instant (intégrales des vitesses)

$$\pm \Omega_m \cos \alpha t,$$

les forces électromotrices sans hystérésis seraient

$$E_1 (1 \pm \varepsilon \sin \alpha t) \sin \omega \left(t \pm \frac{\varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \right).$$

Au premier abord, il semble douteux que l'hystérésis *de l'induit* puisse avoir une influence quel

conque sur la marche en parallèle ; et cependant cette influence doit être importante parce qu'elle est destructive de l'amortissement quand il est faible.

« Dans une bobine de self-induction, par exemple, le flux est légèrement en retard, du fait de l'hystérésis, sur le courant magnétisant qui le produit, et, par conséquent, la force électromotrice est légèrement en retard sur ce qu'elle serait s'il n'y pas d'hystérésis.

« Si l'on examine en détail ce qui se passe dans un alternateur, on reconnait aisément que la force électromotrice est aussi légèrement en retard sur ce qu'elle serait s'il n'y avait pas d'hystérésis dans les tôles d'induit.

« Soient (*fig.* 1) deux pôles + et — d'un alternateur, et une spire induite dont les deux côtés actifs sont, à un moment donné, dans l'axe des deux pôles. Si le sens de rotation des pôles est celui indiqué par la flèche, le magnétisme, au lieu d'être également réparti de part et d'autre de chaque conducteur, est plus intense à gauche qu'à droite, par suite des résidus subsistant à droite de la précédente magnétisation en sens contraire. Le flux dans la spire, au lieu d'être nul à ce moment, a encore une certaine valeur et ne sera nul qu'un peu plus tard. Le retard de la force électromotrice ne parait pas douteux.

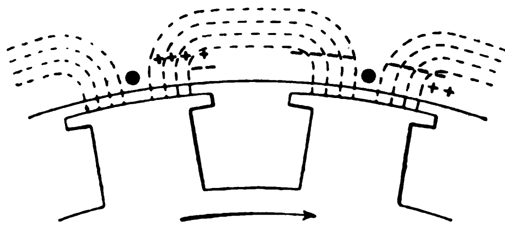


Fig. 1

Ce qui peut encore s'écrire sans grande erreur

$$E_1 (1 \pm \epsilon \sin \alpha t) \left(\sin \omega t \mp \frac{\omega \epsilon}{\alpha} \cos \alpha t \cos \omega t \right).$$

« A cause du retard hystérétique, elles sont en réalité

$$E_1 (1 \pm \epsilon \sin \alpha t) \left[\sin (\omega t - \chi) \mp \frac{\omega \epsilon}{\alpha} \cos \alpha t \cos(\omega t - \chi) \right].$$

Si on néglige provisoirement la résistance intérieure r des alternateurs, si l est la self-induction de chacun, le courant de circulation est alors

$$\frac{E_1}{\omega l} \left[\frac{\omega \epsilon}{\alpha} \cos \alpha t \sin(\omega t - \chi) + \epsilon \sin \alpha t \cos(\omega t - \chi) \right].$$

« D'après la remarque faite précédemment, les puissances sont le produit de ce courant par les forces électromotrices (sans hystérésis). En laissant de côté les termes en $2\omega t$ pour n'avoir que les puissances moyennes, et en négligeant quelques termes sans importance, celles-ci sont alors

$$\left. \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \end{matrix} \right\} = \pm \frac{E_1}{2\omega l} \left(\frac{\omega \epsilon}{\alpha} \cos \chi \cos \alpha t + \epsilon \sin \chi \sin \alpha t \right).$$

« Or, il est facile de voir que $\sin \chi$ est justement la perte η par hystérésis dans l'induit rapportée à la puissance totale de la machine (0,02 à 0,06 suivant les cas). On peut dès lors confondre $\cos \chi$ avec l'unité, et les puissances deviennent plus simplement

$$\left. \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \end{matrix} \right\} = \pm E_{eff} I_{cc} \left(\frac{\omega \epsilon}{\alpha} \cos \alpha t + \epsilon \eta \sin \alpha t \right);$$

le premier terme du second membre

$$E_{eff} I_{cc} \frac{\omega \epsilon}{\alpha} \cos \alpha t$$

est la puissance synchronisante, celle qui fournit le couple élastique et la période propre d'oscillation ; le second terme divisé par la vitesse moyenne Ω_m.

$$\frac{E_{eff} I_{cc}}{\Omega_m} \epsilon \eta \sin \alpha t$$

est un couple perturbateur de signe contraire à l'amortissement, qui amplifie indéfiniment les oscillations quand il est plus grand que celui-ci.

« Si l'on définit l'amortissement C_a par l'égalité

$$\text{Couple amortisseur} = C_a \frac{\Omega - \Omega_m}{\Omega_m},$$

où Ω est la vitesse instantanée, $\Omega_m (1 \pm \epsilon \sin \alpha t)$ dans le cas actuel, le couple amortisseur est égal à

$$\mp C_a \epsilon \sin \alpha t.$$

« Le couple perturbateur dû à l'hystérésis est donc plus grand que l'amortissement quand

$$\frac{E_{eff} I_{cc}}{\Omega_m} \eta > C_a.$$

« En général C_a est une fraction $\frac{1}{g}$ du couple normal en charge de l'alternateur ; si, d'autre part, on appelle k le rapport du courant de court-circuit I_{cc} au courant normal, l'inégalité ci-dessus devient, plus généralement,

$$k \eta g > 1.$$

« Dans les alternateurs à pôles feuilletés, g est

très grand, 10, 20 et même plus. On voit alors qu'en général pour $k = 4$ (alternateurs à faible réaction), pour $\eta = 0,05$, et pour $g = 10$.

$$k\eta g = 2,$$

ce qui veut dire que, avec les alternateurs volants, à faible réaction et pôles feuilletés, l'amortissement naturel, faible, peut être détruit facilement par l'influence de l'hystérésis, et le phénomène de balancement progressif peut se produire assez fréquemment.

« Dans tout ceci, l'excitation des alternateurs est supposée absolument constante, faite par des accumulateurs par exemple. Lorsque les alternateurs ont des excitatrices, l'influence dont l'auteur a parlé dans sa dernière communication s'ajoute à celle de l'hystérésis : elle est aussi d'autant plus grande que la réaction est plus petite, mais de plus, comme elle contient α en dénominateur, elle est d'autant plus grande que le volant est plus lourd. Ceci peut expliquer que le phénomène ait été observé surtout avec des volants lourds. Il disparaît dès que l'on réunit en parallèle les excitations ; ceci a, en effet, un double résultat :

» 1° Celui d'annuler φ_1 et de supprimer par conséquent le premier effet ;

» 2° Celui d'introduire un amortissement supplémentaire par l'échange de courant entre les excitatrices.

» M. H.-H. Barnes a observé de même que le balancement est supprimé lorsque, les alternateurs étant excités par accumulateurs, on charge leurs excitatrices sur des résistances. C'est encore une augmentation de l'amortissement, puisque, dans ce cas, le couple résistant des excitatrices est proportionnel à la vitesse. Il ne faut pas être surpris qu'une si petite cause ait un pareil effet, car le couple perturbateur dû à l'hystérésis est petit, puisqu'il contient $\eta\varepsilon$; il est de l'ordre de grandeur de l'amortissement quand celui-ci est *très faible*. S'il en était autrement, le phénomène de balancement progressif se produirait beaucoup plus fréquemment : il ne se produit pas quand l'amortissement est un peu fort.

» Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer qu'on peut très bien comprendre physiquement cette influence de l'hystérésis, sans avoir recours à des formules mathématiques.

» Lorsque deux alternateurs couplés ont un décalage, sans osciller, si les forces électromotrices sont égales, le courant de circulation est watté ; s'ils oscillent, la différence périodique de leurs forces électromotrices donne lieu à un petit courant de circulation supplémentaire qui est *déwatté*, périodique, maximum au milieu de l'oscillation et nul aux extrémités. Sans hystérésis, ce courant déwatté n'a aucun effet. Avec l'hystérésis il se trouve retardé légèrement et devient donc partiellement watté (négativement) ; sa composante wattée est *motrice*, et, comme elle est maxima au milieu de l'oscillation, c'est-à-dire quand la vitesse périodique est maxima, elle produit un amortissement négatif.

» Le retard des forces électromotrices sur les vitesses, quand il y a des excitatrices, produit le même résultat.

» Dès lors, on peut prévoir que toute cause de retard du petit courant déwatté, dû aux oscillations des forces électromotrices, produira le même effet.

» Par contre, toute cause d'avance produira un amortissement positif. Et dans ce cas se trouve la résistance intérieure des alternateurs qui a pour effet de provoquer une avance du courant comme toute résistance introduite dans un circuit réactif.

» Si l'on recommence en effet les calculs précédents en ne négligeant plus r devant ωl, mais en négligeant encore r^2 devant $\omega^2 l^2$ pour simplifier, on trouve pour le couple perturbateur

$$\frac{E_{eff} I_{cc}}{\Omega_m} \varepsilon \left(\eta - \frac{r}{\omega l} \right) \sin \alpha t.$$

» Le couple perturbateur dû à l'hystérésis et la résistance intérieure combinés peut devenir nul, voire même amortisseur en augmentant la résistance intérieure r.

» Il serait intéressant de vérifier la chose expérimentalement. »

Le photomètre à papillotement et la photométrie hétérochrome par **M. Lauriol.**

Dans le photomètre Symmance-Abady, un disque en plâtre, chanfreiné suivant la fig. 1 tourne autour de son axe AB. Chaque chanfrein est éclairé par une des sources qui sont placées sur une parallèle, à l'axe AB, en avant de celui-ci d'une quantité égale au rayon du disque.

Une lunette horizontale, perpendiculaire à AB,

a son champ limité par une circonférence (en pointillé sur la fig. 1). Lorsque le disque tourne lentement, on aperçoit successivement les aspects indiqués fig. 2. Pour une vitesse de 5 à 15 tours par seconde l'on ne distingue plus ces aspects successifs, mais on observe un papillotement qui, suivant les inventeurs, cesse pour un réglage convenable des distances. Ceci permettrait l'égalisation des éclairements et par suite la mesure

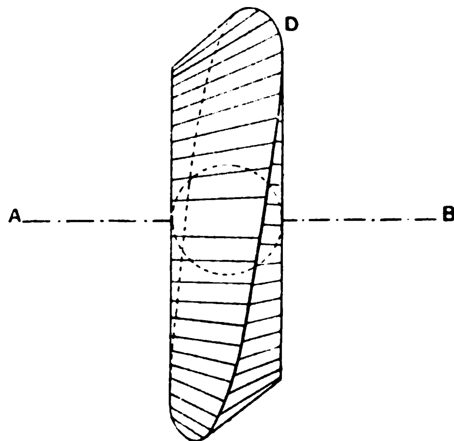


Fig. 1

des intensités relatives des deux sources, *même de couleur différente*. Il semblait que le problème de la photométrie hétérochrome fût résolu. Or, chacun sait combien, en pareille matière, il y avait jusqu'ici peu de précision dans une mesure isolée, et combien les résultats étaient discor-

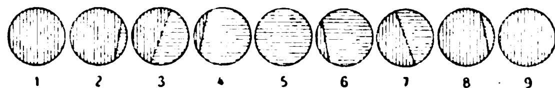


Fig. 2

dants quand on faisait varier, soit les éclairements absolus, soit la durée d'impression de la rétine.

« Pour analyser plus complètement les phénomènes, l'auteur a apporté au photomètre Symmance-Abady une modification : Dans l'appareil primitif, le disque est mû par un mouvement d'horlogerie et la vitesse est difficilement réglable et mesurable. Il a remplacé le mouvement d'horlogerie par un moteur électrique muni de rhéostats qui permettent de régler la vitesse. Les phénomènes observés sont différents suivant la vitesse. Au repos, l'arête des chanfreins divisant le champ en deux parties égales (positions 3 ou 7 de la figure 2) on a un photomètre à plages fixes juxtaposées, fonctionnant comme tous les instruments analogues. Au voisinage de 1 tour par seconde, on distingue encore les deux plages et leur limite qu'on voit se déplacer. Le photomètre fonctionne à peu près comme dans le cas précédent. Vers 3 tours par seconde, on ne distingue plus les plages ni leur limite, le champ offre des teintes fondues de droite à gauche, passant, suivant la couleur des sources, d'un gris foncé à un gris clair, d'un gris vert à un gris rouge, etc. En même temps, un voile, à chaque tour, vient du côté de la plage la moins éclairée, couvre progressivement tout le champ et se retire du côté d'où il est venu. On peut encore sinon compter, au moins distinguer les alternances. La disparition ou le minimum de ce dernier effet indique l'égalité d'éclairement des deux plages. Entre 5 et 15 tours par seconde, on observe les teintes fondues comme précédemment. On perçoit un papillotement qu'on ne peut plus localiser ni dans le temps ni dans l'espace, et dont l'extinction ou le minimum indique l'égalité d'éclairement des deux chanfreins.

« Enfin, aux grandes vitesses, il est clair que tout papillotement disparaîtrait, quel que fût l'éclairement des deux chanfreins.

« Avec deux sources de même couleur ou de couleurs très peu différentes, comme deux lampes à incandescence prises au hasard et étiquetées par le fabricant pour la même tension, le photomètre fonctionne bien à toute allure. Entre les divers photomètres connus et le photomètre à disque tournant, employé à telle ou telle vitesse, les préférences de divers observateurs peuvent varier. Le photomètre à disque tournant, employé aux vitesses où le papillotement se produit effectivement (6 à 8 tours par seconde), paraît à M. Lauriol plus précis et moins fatigant que les autres.

« Avec les lumières de couleurs différentes, les phénomènes deviennent singulièrement plus complexes.

« Il faut signaler tout d'abord une première cause d'erreur. Les sources agissent sur l'œil, non directement, mais par l'intermédiaire de prismes, de miroirs, d'écrans soi-disant blancs. Mais ces derniers sont-ils vraiment blancs, et la lumière qui arrive à l'œil est-elle toujours de même composition que celle qui est émise par

les sources? Les pertes diverses sont-elles les mêmes pour toutes les radiations élémentaires? Même si la couleur n'est pas altérée, un photomètre peut absorber plus qu'un autre et le passage d'un photomètre à un autre, sans modification des distances des sources, équivaut à une modification des éclairements absolus perçus par l'œil, ce qui, comme chacun sait, fait varier les mesures. En fait, on trouve de l'un à l'autre des discordances sensibles, qu'il s'agisse de couleurs peu différentes, lampe nue et lampe couverte d'un verre jaune, lampe ordinaire et lampe Nernst, ou de couleurs très différentes, deux lampes couvertes l'une d'un verre rouge, l'autre d'un verre vert. Entre un Foucault et deux Lummer de types différents, on trouve des différences de 15 à 30 %, *la distance entre le photomètre et l'une des deux sources restant fixe.* Ces différences sont systématiques, malgré les incertitudes sur chaque observation isolée, qui sont du même ordre de grandeur.

« L'éclairement absolu exerce sur les mesures son influence bien connue, avec le photomètre à papillotement comme avec les autres, et les variations sont de même ordre, quoique assez différentes. En allant des éclairements minima aux éclairements maxima que nous ayons pu réaliser, on voit que les rapports d'intensités varient proportionnellement aux nombres suivants :

blanc / jaune	100 à 80
blanc / vert	100 à 102 à 99
blanc / rouge	100 à 60
vert / rouge	100 à 20
jaune / bleu	100 à 400
Nernst / incandescence ordinaire	100 à 80 à 100

« Dans le photomètre à disque tournant, l'influence de la vitesse s'ajoute aux précédentes. Lorsque la vitesse varie de 0 à 12 ou 15 tours par seconde, les rapports d'intensité varient proportionnellement aux nombres suivants :

blanc / rouge	100 à 80
vert / rouge	100 à 20
jaune / bleu	100 à 50 à 110
Nernst / incandescence ordinaire	100 à 120

« Si l'on dépouille les expériences en détail, on rencontre bien des anomalies. On ne doit donc voir, dans les chiffres qui précèdent, qu'une indication sur l'allure générale des phénomènes.

« Pour un éclairement donné, avec un photomètre donné et, s'il s'agit du photomètre Symmance, avec une vitesse donnée, l'expression : *rapport des intensités de deux sources*, paraît bien avoir une signification. Si, par exemple, l'on prend n sources a_1, a_2..., a_n de couleurs différentes, et qu'on mesure les rapports des intensités $\frac{a_1}{a_2}, \frac{a_2}{a_3}, \ldots, \frac{a_{n-1}}{a_n}, \frac{a_n}{a_1}$, le produit de ces rapports doit être égal à 1. C'est ce que M. Lauriol a vérifié à 10 % près avec trois ou quatre sources. Mais, si l'on ne fixe pas ces diverses données, les expressions : *intensité* ou *rapport d'intensités* n'ont plus de sens.

« Dans la pratique, les objets éclairés sont examinés pendant des durées très longues, comparées à la durée d'un tour du disque dans le photomètre à papillotement. Ce photomètre comporte donc, par son principe même, une cause d'erreur que ne comportent pas les photomètres à plages fixes et, comme exactitude sur une mesure isolée, il paraît leur être équivalent. S'il offre quelques avantages pour les sources de même couleur, il doit être rejeté dans les autres cas.

» Restent toujours les incertitudes provenant du type de photomètre employé, et de la valeur de l'éclairement. La première cause d'erreur est difficile à faire disparaître bien qu'il n'y ait pas d'impossibilité théorique; il faudrait trouver pour construire le photomètre un ensemble de corps (diffuseurs, réfracteurs et réflecteurs) tels que la lumière qui sort du photomètre ait toujours même composition que celle qui y entre. La seconde cause ne peut être détruite. Il y a à examiner des objets avec des éclairements très divers, depuis la lumière solaire par un beau temps jusqu'à l'éclairement artificiel d'une table de travail et à celui d'une voie publique dotée seulement du strict

nécessaire. Il n'y a aucun motif pour choisir l'un ou l'autre de ces éclairements comme base des mesures.

« On a proposé diverses méthodes pour mesurer les intensités de sources de diverses couleurs, avec ou sans l'aide de l'œil. Pour des sources de même composition, le problème est théoriquement soluble; si 999 sources A produisent le même effet, par exemple, sur une plaque photographique, que 1000 sources B, l'équivalence se maintiendra vraisemblablement pour une plaque photographique de nature différente ou placée à une distance différente, pour une pile thermo-électrique, pour une pile au sélénium, pour l'éclairement d'un objet quelconque à une distance quelconque, et l'on pourra dire que $B = \frac{999}{1000} A$. Il n'en est plus de même avec deux sources de composition différente. Les tentatives faites dans ce sens définissent toutes l'intensité totale d'une source de composition quelconque par une formule :

$$I = \int I_\lambda f(\lambda) \, a \, \lambda,$$

$I\lambda$ étant l'intensité de chaque radiation élémentaire mesurée, par exemple en prenant pour unité l'intensité d'un étalon donné (carcel, étalon Violle, etc.). pour la même longueur d'onde ;

» $f(\lambda)$ un coefficient numérique fonction de la longueur d'onde.

» On dira, par exemple, que deux sources sont égales si elles donnent la même impression sur une plaque photographique en faisant agir successivement les diverses radiations élémentaires pendant un temps $f(\lambda)$.

» On peut arriver ainsi à définir et à à mesurer exactement, avec ou sans l'aide de l'œil, une certaine propriété des sources lumineuses. Mais on ne saurait trouver une $f(\lambda)$ telle que I représente dans tous les cas la valeur d'une source pour les divers cas pratique puisque cette valeur n'est pas une propriété même de la source mais dépend des circonstances dans lesquelles celle-ci est employée. Autant vaudrait chercher à évaluer le volume d'un cylindre en mesurant la longueur, sans s'inquiéter de son diamètre.

» Si l'on veut faire des mesures tant soit peu précises il faut ne comparer entre elles que des lumières sensiblement de même composition et par suite avoir toute une série d'unités différentes pour les flammes d'hydrocarbures, pour les becs de gaz à incandescence, pour les arcs électriques ordinaires, pour les arcs dits *à flamme*, etc. Quant à dire, d'après des mesures, qu'un arc électrique, dans une direction donnée, a une intensité de x carcels, ce n'est possible qu'avec une bien grossière approximation. On en saura presque autant, sans appareil de mesure, en appréciant au jugé combien de carcels et combien d'arcs il faut pour rendre les mêmes services dans un cabinet de travail, dans un atelier, sur une voie publique, etc.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et Généralités

Génération et Transformation

Piles et Accumulateurs

Transmission et Distribution

Télégraphie

Traction

Applications mécaniques

Eclairage

Electrochimie

Applications thermiques

Divers

MESURES

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

Académie des Sciences

Société Internationale des Electriciens

Société des Ingénieurs Civils

Association Française de Propriétaires d'Appareils à vapeur ayant un service Electrique

Société Belge d'Electriciens

Association Electrotechnique Italienne

Américan Institute of Electrical Engineers

Institution of Electrical Engineers

Société Faraday

Association Allemande des Ingénieurs de l'hydraulique et du gaz

CONGRÈS ET EXPOSITIONS

Congrès de Vienne

Exposition de Saint-Louis

BREVETS

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

N

O

P

R

S

SENS. — IMPRIMERIE MIRIAM, 1, RUE DE LA BRETAUCHE

Le Gérant: A. BONNET.

